

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

FUNKČNÍ ANALÝZA RIZIK (FHA) 4-MÍSTNÉHO LETOUNU PRO OSOBNÍ DOPRAVU

FUNCTIONAL HAZARD ASSESSMENT (FHA) OF 4-SEAT AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN JAKL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ HLINKA, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Jakl

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Stavba letadel (2301T039)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Funkční analýza rizik (FHA) 4-místného letounu pro osobní dopravu

v anglickém jazyce:

Functional Hazard Assessment (FHA) of 4-seat aircraft

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro malý 4-místný letoun navrhovaný podle požadavků předpisu CS-23 proveďte rešerši statistik nehodovosti konvečních letounů této kategorie. Zpracujte přehled požadavků předpisů týkajících se bezpečnosti a spolehlivosti soustav tohoto typu letounu. Sestavte přehled autopilotů v dané kategorii letadel. Dále proveďte detailní funkční analýzu rizik vybraných soustav letounu podle požadavků vedoucího diplomové práce.

Letoun bude vybaven přístrojovým vybavením pro lety podle přístrojů (IFR) a s důrazem na pokročilý systém autopilota. Specifikace soustav letounu a přístrojového vybavení bude podle požadavků vedoucího diplomové práce. V případě potřeby rozměrové a tvarové specifikace použijte vstupní data platná pro letoun VUT100 Cobra. Zpracujte návrh uspořádání přístrojového vybavení a vytvořte výkres uspořádání přístrojové desky letounu.

Cíle diplomové práce:

Cílem je zpracování funkční analýzy rizik soustavy autopilota pro letouny všeobecného letectví. Řešení souvisí s problematikou zajištění bezpečnosti a spolehlivosti letadel všeobecného letectví. Tato kategorie letadel v uplynulých letech prošla bouřlivým rozvojem a je typická pro domácí letecký průmysl.

Seznam odborné literatury:

Jane's: All the World's Aircraft, Jane's Information Group Limited, UK

Předpis CS-23, FAR-23; Poradní oběžník AC 23.1309

VILLAMEUR, A.: Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment – Volume 1,2
, John Willey & sons, Chichester, 1992

HOLUB, R.; VINTR, Z.: Spolehlivost letadlové techniky (elektronická učebnice), VUT-FSI, Brno,
2001, 233 str.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Antonín Píšťek, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE:

Tato práce na začátku zahrnuje ucelený přehled nehodovosti letadel v této kategorii 2-6ti místných letadel pro osobní přepravu. Jelikož je tato práce zaměřena na autopiloty, tak nechybí ani základní přehled nejpoužívanějších autopilotů, které můžeme v těchto letadlech najít nyní, ale i v budoucnu. Funkční analýza rizik (FHA) pro 4-místný letoun pro osobní dopravu převážně zkoumá katastrofické případy selhání funkce, které jsou ve většině případů doplněny pravděpodobnostmi výskytu převzatých z různých databází. Letoun, pro který je vytvářena tato analýza bude přednostně vybaven přístroji pro IFR lety. Nechybí ani stručný přehled předpisů nutných pro zástavbu těchto systémů do letounu. Na konci této práce je návrh palubní desky, jako návrh uspořádání přístrojového vybavení pro budoucí letouny s důrazem na maximální přehlednost.

ANNOTATION:

At the beginning this master's thesis includes of a comprehensive review of aircraft accidents in this category, 2-6-digit aircraft for passenger transport. Since this work focused on autopilot, so naturally there is a basic overview of most common autopilots, which can be found in these aircraft now, but in the future. Functional hazard analysis (FHA) for the 4-seater plane for passenger services primarily investigates cases of catastrophic malfunction, which in most cases accompanied by the likelihood taken from different databases. The airplane, which is created for this analysis will preferably equipped with instruments for IFR flights. There is also a brief overview of the regulations necessary for the installation of these systems in the airplane. At the end of this work is to design the dashboard, a design layout of equipment for future aircraft, with an emphasis on maximum transparency.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Letadla, spolehlivost, bezporuchovost, autopilot, letadlové soustavy, analýza.

KEY WORDS:

Aircraft, reliability, dependability, autopilot, aircraft systems, analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

JAKL, J. Funkční analýza rizik (FHA) 4-místného letounu pro osobní dopravu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval sám, pod vedením vedoucího práce doc. Ing. Jiřího Hlinky, Ph.D. Při použití literatury, svědomitě tyto zdroje v práci cituji.

V Brně dne 27. května 2010

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ:

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Jiřímu Hlinkovi Ph.D. za spoustu času, který mi při vypracovávání této práce věnoval a také za vyčerpávající odpovědi na mé často kladené dotazy.

Obsah

1	Úvod	15
1.1	Obecná statistika nehodovosti zaměřená na 2-6 místné letouny	16
1.2	Statistiky zaměřené na příčinu vzniku nehody	17
1.2.1	Nehody při kterých bylo prokázáno pochybení pilota	17
1.2.2	Vliv způsobu provozování letadel	19
1.2.3	Nehodovost jednomotorových letadel s nezatahovatelným podvozkem	20
1.2.4	Nehodovost jednomotorových letadel se zatahovatelným podvozkem	23
1.2.5	Nehodovost způsobená poruchou technického charakteru	26
1.3	Celkové zhodnocení nehodovosti	29
1.3.1	Rozdělení celkové nehodovosti do kategorií pilot / technika	30
2	Předpisy pro instalaci autopilotů	31
2.1	CS 23.1309 Vybavení, systémy a zástavby	31
2.2	CS 23.1329 Systém autopilota	33
2.3	CS 23.1331 Přístroje užívané zdroj energie	35
3	Autopiloty	35
3.1	Přehled autopilotů pro danou kategorii letadel	36
3.2	S-TEC	36
3.2.1	S-TEC 55	36
3.2.2	S-TEC 60-2	38
3.2.3	S-TEC 65	40
3.3	Bendix/King	42
3.3.1	KFC 150	42
3.3.2	KFC 200	43
3.3.3	KFC 225	44
3.3.4	KFC 325	46
4	Vybavení letounu pro lety IFR (Instruments Flying Rules)	47
4.1	Porovnání VFR a IFR letu	47
4.1.1	Let podle pravidel VFR (Visual Flight Rules)	47
4.1.2	Let podle pravidel IFR (Instrument Flight Rules)	47
4.2	Nutná výbava letounu pro IFR lety	48
5	Specifikace soustav letounu a přístrojového vybavení	49
5.1	Přístroje vyžadované předpisy	49
5.1.1	Magnetický kompas	49
5.1.2	Přesné hodiny	50
5.1.3	Teploměr vnějšího vzduchu	50
5.1.4	Citlivý barometrický výškoměr	51
5.1.5	Rychloměr	51
5.1.6	Vyhřívaný pitot.-statický systém	52
5.1.7	Signál poruchy vyhřívání pitot.-statického systému	52
5.1.8	Variometr	52
5.1.9	Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu nebo přístroj pro koordinovanou zatáčku	52
5.1.10	Umělý horizont	52
5.1.11	Směrový setrvačnick	53

5.2	Modernější uspořádání palubních přístrojů - Glass cockpit	53
5.3	Elektrická soustava na palubě letounu	54
6	FHA analýza	56
6.1	Posouzení bezpečnosti	56
6.2	FHA jako prediktivní metoda	59
6.3	Kritické funkce čtyřmístného dopravního letounu dle FHA	59
6.3.1	FHA analýza kritických funkcí pro systém autopilota	60
6.3.2	FHA analýza kritických funkcí pro systém elektrické soustavy	61
6.3.3	FHA analýza kritických funkcí pro soustavu ovládání kormidel	62
6.3.4	FHA analýza funkcí nutného přístrojového vybavení	64
6.3.5	FHA analýza kritických funkcí pro soustavu centrálního varovného systému	66
6.3.6	FHA analýza kritických funkcí pro soustavu palubních navigačních přístrojů	67
6.3.7	FHA analýza kritických funkcí pro soustavu palubních motorových přístrojů	67
7	Návrh uspořádání obecného přístrojového vybavení	67
7.1	Návrh uspořádání přístrojového vybavení systému G1000	69
8	Závěr	71
9	Použitá literatura, použité zdroje:	73
	Seznam použitých zkratk	74
10	Seznam příloh	75

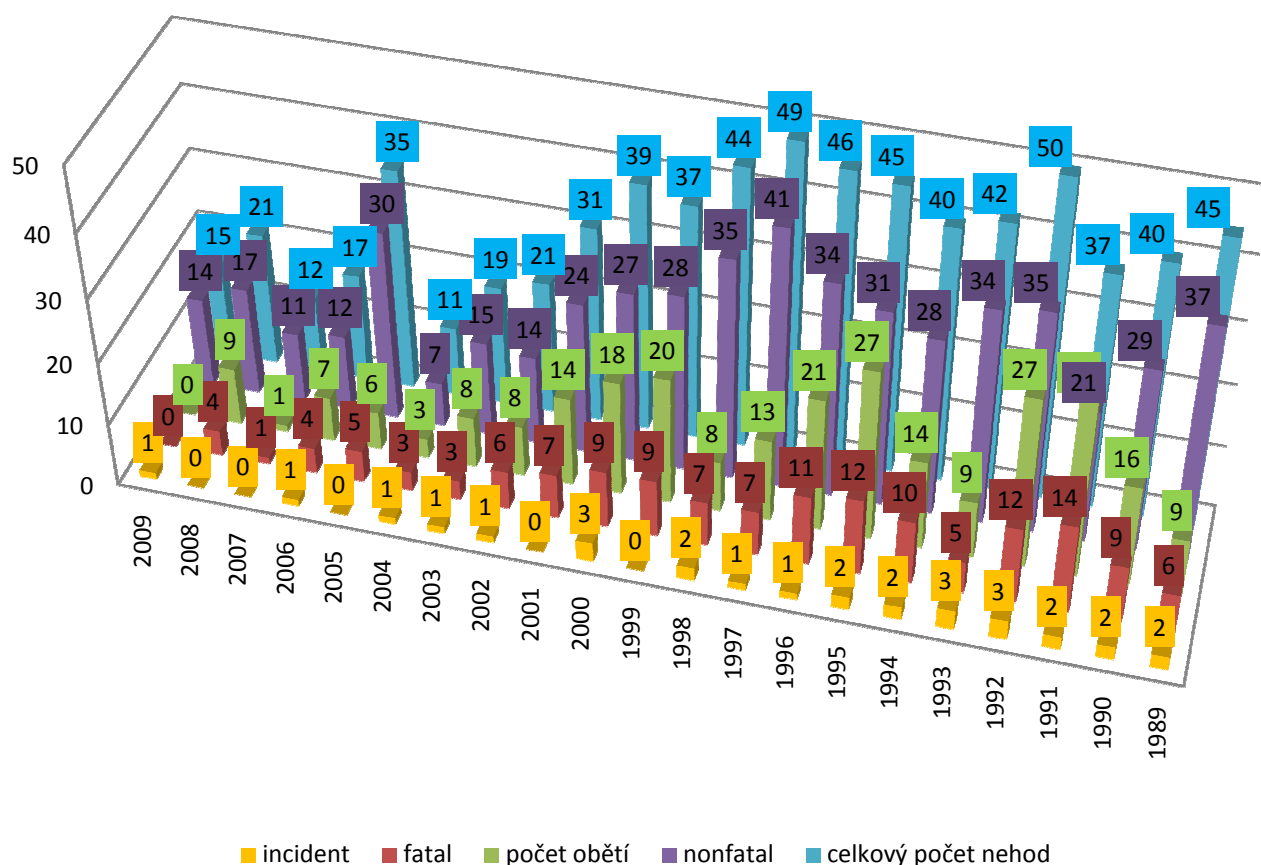
1 Úvod

Tato práce se bude zabývat především automatickými systémy řízení a také přístrojovým vybavením letadel kategorie GA a jejich funkčními analýzami rizik. Nejprve, z důvodu proč se vlastně analýzami nehod letadel zabývat, budou uvedeny statistiky nehodovosti kategorie letadel navrhovaných dle předpisů CS-23, jakou mají tyto nehody tendenci, co je největší příčinou havárií letadel GA. Aby bylo hned na první pohled vidět, že nehody v letectví nejsou časté, ale i tak při nich zahyne nezanedbatelné procento lidí, a proto je důležité tyto příčiny studovat, vytvářet analýzy a závěry, ze kterých vycházejí doporučení a předpisy, kterými se musejí výrobci těchto letadel řídit pro maximální zvýšení bezpečnosti letu. Odstranění technického charakteru poruch není vždy konečným řešením problému, neboť zůstává poměrně velký faktor přispívající mnohem více k nehodám než technika a ten faktor je lidský faktor. A z tohoto důvodu se v současné době do letadel začínají hojně zavádět automatické systémy letu - autopiloty. Zde nastává nový problém se spolehlivostí těchto systémů a nový prostor pro zkoumání příčin nehod způsobených těmito systémy, i když nutno dodat, že nejsou zdaleka tak časté jako v předchozím případě s lidským faktorem. Dále uvádím také krátký přehled požadavků předpisů, kterými se musí výrobci systémů autopilotů zabývat a následně bude zpracována Funkční analýza rizik (FHA) 4-místného letounu pro osobní dopravu, která je hlavním tématem této práce. Typ letounu, pro který budou zpracovány tyto analýzy, bude vybaven přístrojovým vybavením pro lety podle přístrojů (IFR) s důrazem na pokročilý systém autopilota. Předpokladem je, že ztráta stejné funkce u VFR letadla oproti IFR letadlu je mnohem méně kritická, a proto se nebudu kritičností poruch funkcí VFR letadel zabývat. Letadla IFR kategorie se široce rozšiřují v důsledku vyrovnaného poměru přijatelných pořizovacích, provozních i servisních nákladů a lepších výkonů mezi široké spektrum pilotů, proto je nutné tyto analýzy vytvářet k přispění k bezpečnosti. Pokud se prostřednictvím těchto studií zachrání byť jen jediný život navíc, pak má cenu tyto analýzy v širokém rozsahu vytvářet.

1.1 Obecná statistika nehodovosti zaměřená na 2-6 místné letouny ¹

Statistiky nehodovosti jako vstupní impulz, který udává směr zkoumání, jsou důležité pro celkovou analýzu následků a hlavně příčin nehod. Na základě výsledků těchto analýz se může konstruktér později zaměřit na řešení problémů, které způsobují nehody, a také může těmto nehodám předcházet inovativními konstrukčními řešeními. Nejprve bych chtěl uvést graf statistik nehodovosti letadel dvou až šesti místné kategorie za posledních 20 let bez ohledu na příčinu způsobující nehodu. V grafu 1 uvádím pouze počet nehod v daných letech a dělím je podle konečného výsledku nehody. Na grafu je také vidět poměrně silné zastoupení nehod v devadesátých letech minulého století a rok 1992 je zde nechvalně zastoupen největším celkovým počtem nehod, ale také smrtelných nehod. Od roku 1998 je vidět pozvolný pokles počtu nehod.

Statistický přehled počtu nehod 2-6 místných letadel za posledních 20 let



graf. 1 (přehled nehodovosti 2-6 místných letadel v letech 1989-2009)¹

¹ Statistika zpracovaná z dat ze serveru www.nts.gov [10]

1.2 Statistiky zaměřené na příčinu vzniku nehody

Nyní se zaměřím na příčiny vzniku nehod v celkové kategorii GA, tudíž nebudu letadla třídit podle počtu cestujících a jiných dalších kritérií. Podle odhadů FAA a Nall Reportu z roku 2006 v roce 2005 nalétali piloti GA celkem 23 167 712 letových hodin, z toho připadá 7,2 nehody na každých 100 000 letových hodin. V reportu, který jsem výše již citoval je také uvedeno, že nehody letounů jsou především způsobeny nesprávným okamžitým rozhodováním pilotů zejména při manévrování v blízkosti země. Polovina těchto nehod byla způsobena kontaktem letounu s dráty, stromy, zemí nebo jinou blíže nespecifikovatelnou překážkou. V mnoha případech to není nedostatkem dovedností, ale špatnou disciplínou pilota, který létá v přílišné blízkosti země, ale také agresivním manévrováním, pro které se pilot rozhodne a následně už není schopen započatý obrátit tzv. "vybrat" a dojde opět ke kontaktu se zemí. To jsou jedny z příčin leteckých nehod v kategorii GA, ale jsou i jiné, a proto nejdůležitějším záměrem prozkoumávání nehod je právě stanovení jejich příčin a vzniku. Výsledky tohoto počínání by měly hlavně vést k odstranění těchto příčin způsobujících nehody, a to následně vede k bezpečnějšímu provozu letadel. Pokud se podíváme na následující tabulky, můžeme s určitostí stanovit, že největší podíl na nehodovosti letadel kategorie GA má právě nesprávné počínání pilota následované technickými poruchami elektronických i mechanických částí na letadle a zbytek nehod je neznámého charakteru. Z uvedené tabulky (tab.1), můžeme také vypočítat tendenci mírného sestupu počtu nehod, ale procentuální zastoupení příčin nehod se zcela tak výrazně nemění.

Hlavní příčina	2006		2007		2008	
	Počet nehod	S obětmi na životech	Počet nehod	S obětmi na životech	Počet nehod	S obětmi na životech
Pilot	1076 (74,9%)	242 (82,9 %)	973 (73,8 %)	216 (79,1 %)	996 (71,9 %)	191 (75,8 %)
mechanické, elektrické závady	232 (16,2%)	22 (7,5 %)	223 (16,9%)	27 (9,9 %)	219 (15,8 %)	19 (7,5 %)
ostatní / neznámé	128 (8,9%)	28 (9,2 %)	123 (9,3%)	30 (11 %)	170 (12,3 %)	42 (16,7 %)

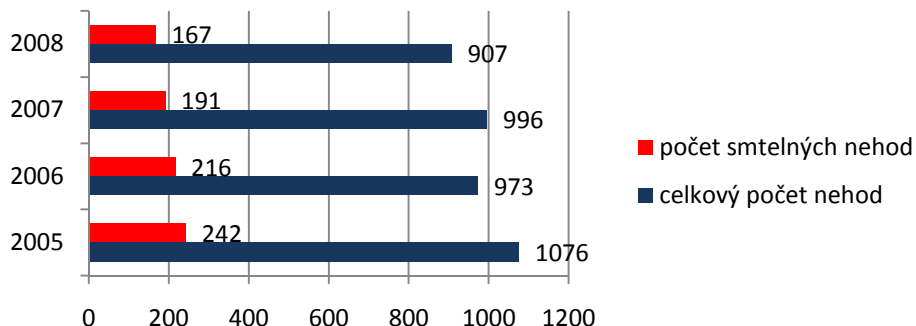
tab. 1 (Nehody GA v letech 2006, 2007, 2008 se zjevnou příčinou)²

1.2.1 Nehody při kterých bylo prokázáno pochybení pilota

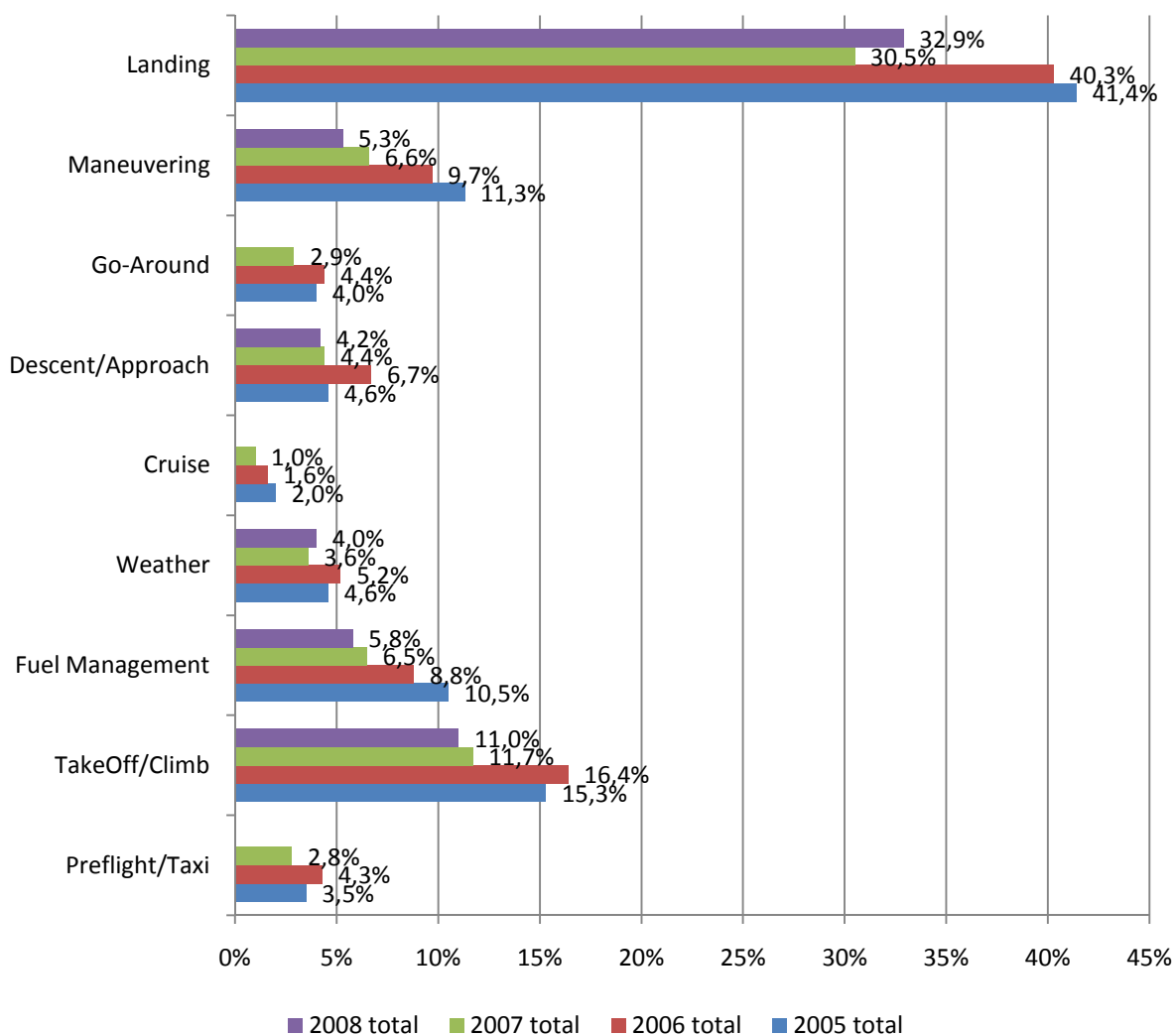
Protože nejvíce nehod je způsobeno právě pilotem, uvádím podrobné grafy, které zobrazují počty nehod v daných letech, ale také počty smrtelných událostí, při kterých byla prokázána pochybení pilota. Graf 2 zobrazuje celkový počet nehod a z tohoto počtu také vykazuje počet smrtelných nehod. Graf 3 zobrazuje procentuální přehled nehod při určitých fázích letu, při kterých pilot provedl chybu a následně havaroval. Graf 4 zobrazuje procentuální přehled smrtelných nehod ze stejné příčiny za dané roky. Z těchto výsledků vyplývá, že nejvíce nehod se stává v konečné fázi letu, při přistání, ale na druhou stranu procento smrtelně zraněných

² Data převzatá z Nall Report 2006, Nall Report 2007, Nall Report 2008 [1]

je při této fázi poměrně nízký. Zato nejvíce kritickou fází letu je podle grafu 4 manévrování, při kterém v roce 2005 zahrnovalo více než 33% z celkového počtu smrtelných událostí!

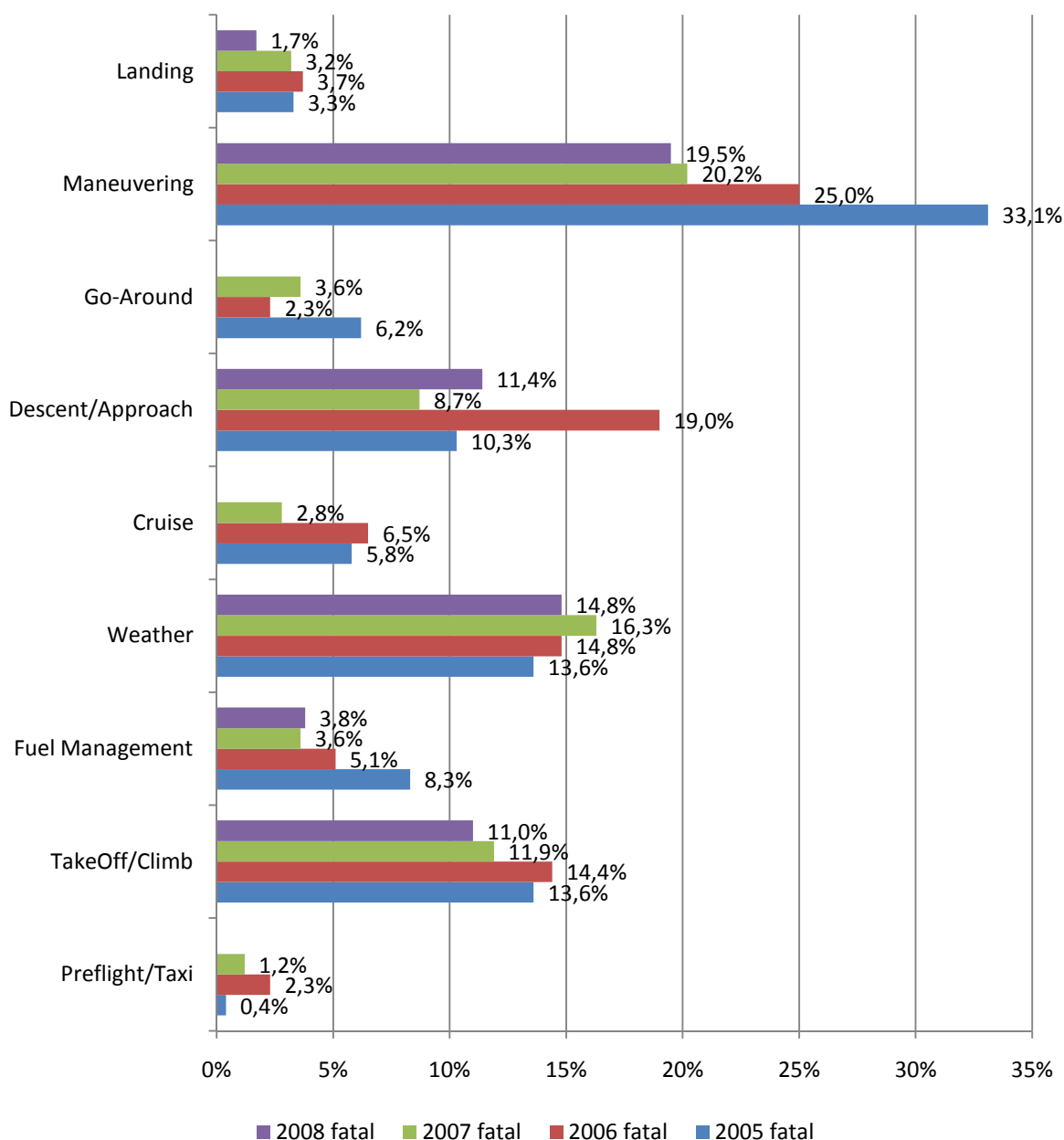


graf. 2 (celkový počet nehod a počet smrtelných nehod způsobených pilotem v letech 2005-2008)³



graf. 3 (procentuální četnost nehod způsobených pilotem v letech 2005-2008)³

³ pro graf 2 a 3 jsou data převzata z Nall Reportu 2006, 2007, 2008, 2009 [1]



graf. 4 (procentuální četnost smrtelných nehod způsobených pilotem v letech 2005-2008) ⁴

1.2.2 Vliv způsobu provozování letadel

Další zhodnocení nehodovosti bude pojato v duchu způsobu provozování letu. Jsou různé kategorie, které můžeme porovnávat, jako například "Personal", "Instructional", Aerial Application", "Business", atd. V každé této kategorii najdeme určité procento nehodovosti a zejména kategorie osobního létání (personal) vykazuje největší procento nehodovosti, z čehož lze usuzovat, že tyto lety jsou nejvíce rizikové

⁴ pro graf 4 jsou data převzata z Nall Reportu 2006, 2007, 2008, 2009 [1]

v důsledku malých zkušeností soukromých pilotů, i za předpokladu že piloti mají licenci PPL.

Způsob létání	Ze všech letů (2005)	Ze všech nehod (2005)	Oběti na životech (2005)
Personal	49,40%	70,70%	81,20%
Instructional	18,40%	13,20%	6,50%
Aerial Application	5,10%	5,30%	3,40%
Business	15,10%	2,50%	2,40%
Positioning	---	1,70%	0,70%
Ferry	---	0,40%	0,70%
Other Work use	0,50%	1,00%	0,70%
Aerial Observation	3,50%	0,60%	1,40%
Executive/Corporate	4,30%	0,10%	0,00%
Other/Unknown	3,70%	4,50%	3,00%

tab. 2 (porovnání nehodovosti dle způsobu létání)⁵

Způsob létání	Ze všech letů (2006)	Ze všech nehod (2006)	Oběti na životech (2006)
Personal	48,20%	71,50%	71,80%
Instructional	20,10%	13,30%	7,70%
Aerial Application	4,60%	4,30%	3,30%
Business	15,10%	2,80%	5,50%
Positioning	---	1,70%	2,20%
Ferry	---	0,50%	0,70%
Other Work use	0,80%	0,80%	1,80%
Aerial Observation	3,00%	0,60%	1,10%
Executive/Corporate	4,00%	0,70%	0,40%
Other/Unknown	4,20%	3,80%	5,50%

tab. 3 (porovnání nehodovosti dle způsobu létání)⁶

Z obou tabulek (tab. 2 a tab. 3) je zcela vypovídající fakt, že soukromé létání je nejméně bezpečné. Jak v roce 2005, tak i v roce 2006 je procentuální vyjádření obětí na životech v průměru 76,5% z celkového počtu obětí za obě zkoumaná období. Při porovnání s pravidelnou leteckou dopravou (ferry), kde hodnota obětí na životech dosahuje pouze 0,7% z celkového počtu smrtelných událostí, dostáváme rozdíl necelých 76%, což už je poměrně vysoké číslo. Uspokojící může být snad jen fakt, že můžeme pozorovat postupné snižování těchto kritických čísel.

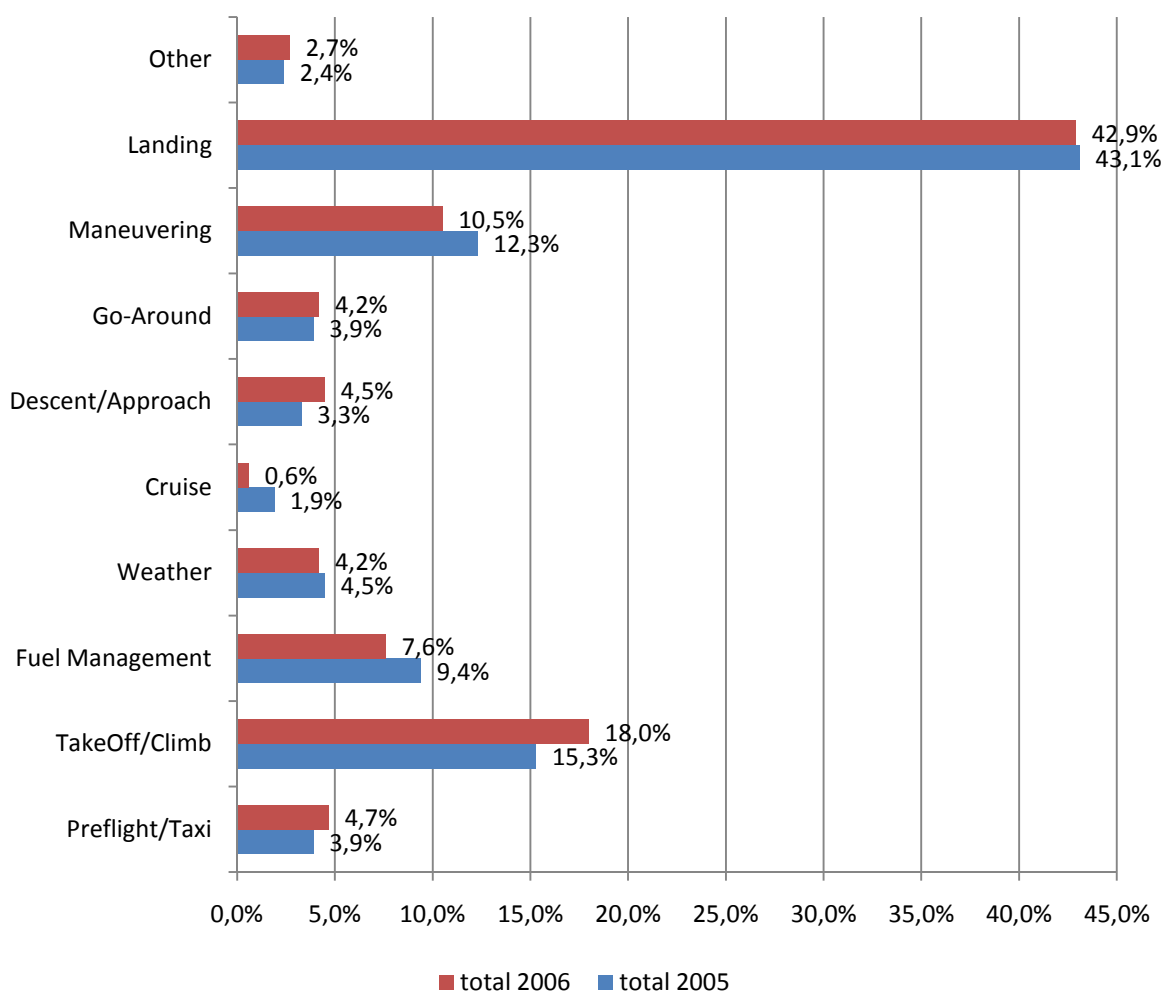
1.2.3 Nehodovost jednomotorových letadel s nezatahovatelným podvozkem

Tato skupina letadel tvoří největší část kategorie GA. Jejich využití je široké a také jejich dostupnost a nízká cena provozních nákladů dělá tato letadla přitažlivými pro širokou veřejnost, která nevyužívá letoun jen pro pracovní účely, ale zejména také pro rekreační lety. Bohužel se jedná o široké spektrum nepříliš zkušených pilotů. V roce 2005 se stalo 152 a v roce 2006 už o něco méně, a to 118

⁵ data jsou převzata z Nall Reportu 2006 [1]

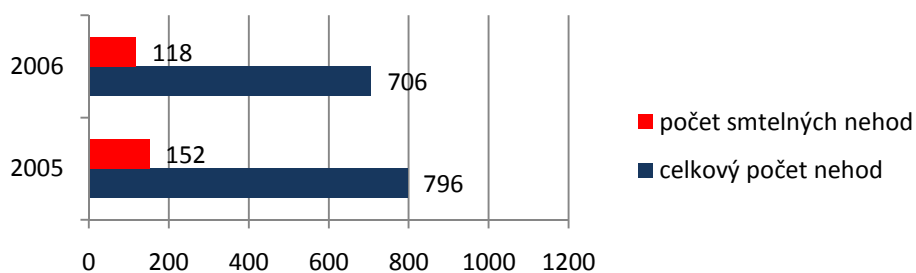
⁶ data jsou převzata z Nall Reportu 2007 [1]

smrtečných nehod právě v této kategorii letadel. Zobrazení těchto skutečností je v grafu 6. Nejrizikovější fáze letu jsou opět manévrování s 39,5 %, vzletem nebo stoupáním 15,3 % a ovlivněno počasím 14,5 % (všechny tři skutečnosti podrobněji rozděleny v grafu 7). Graf 5 zobrazuje jen celkový procentuální přehled způsobených nehod. Nehodám při manévrování se dá obvykle předejít správným úsudkem pilota při rozhodování provádět lehké akrobatické prvky v nízké nadmořské výšce. Nehody při špatném počasí lze rozdělit dále do více kategorií, graf 9 ukazuje, že největším problémem nehodovosti za podmínek IMC jsou piloti VFR letadel, kteří s nedostatečně vybaveným letadlem podstupují let v podmínkách krajně nevhodných a následkem toho bývá nehoda kontaktem se zemí nebo s drátou vysokého napětí a různé podobné nehody. Celkový počet nehod jednomotorových letadel s nezatahovatelným podvozkem dosáhl v roce 2005 k počtu 796, z toho 152 mělo za následek smrt alespoň jednoho člena posádky.

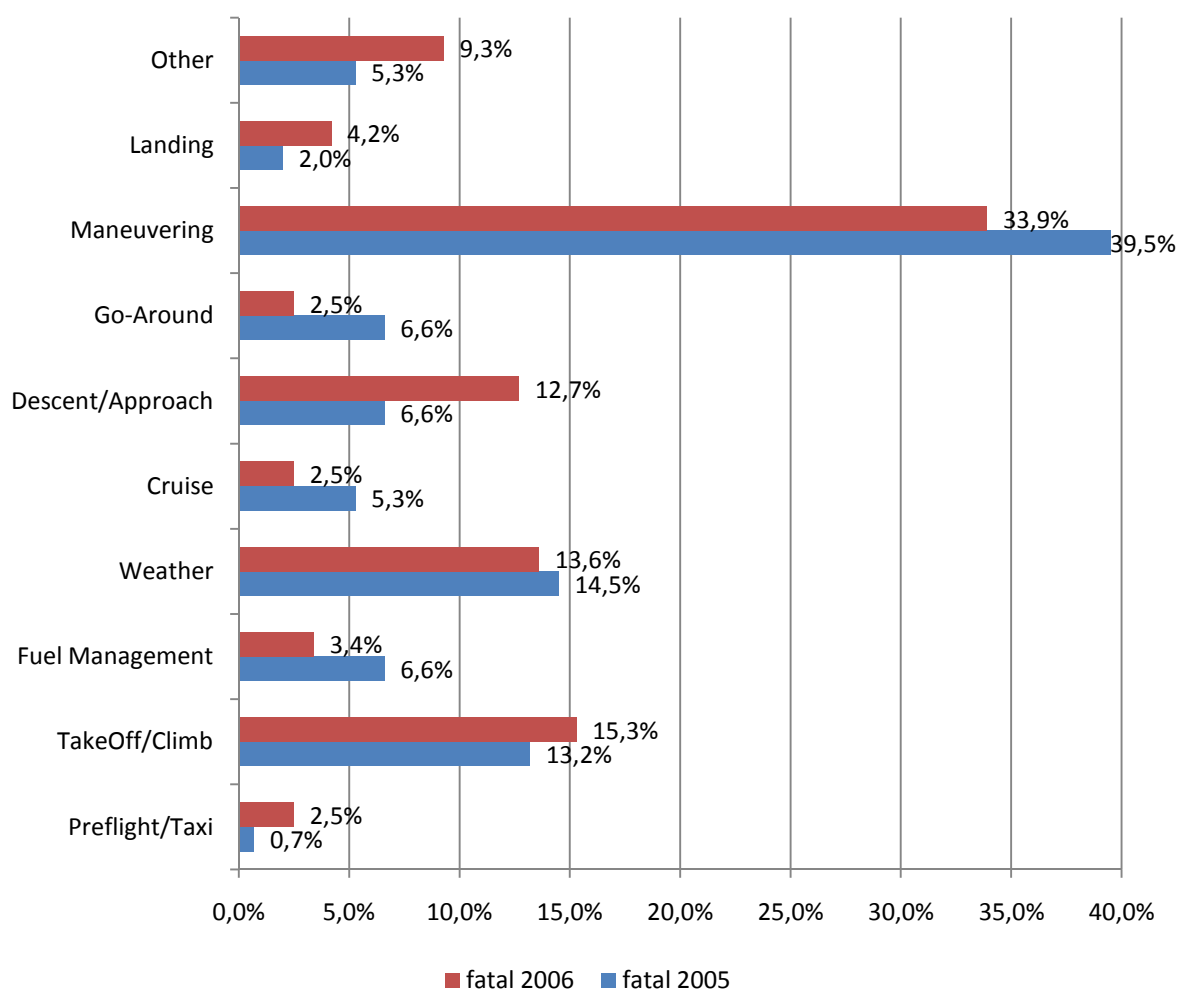


graf. 5 (procentuální přehled celkového počtu nehod SE letadel s nezatahovatelným podvozkem) ⁷

⁷ data pro graf jsou převzata z Nall Report 2006 a 2007 [1]



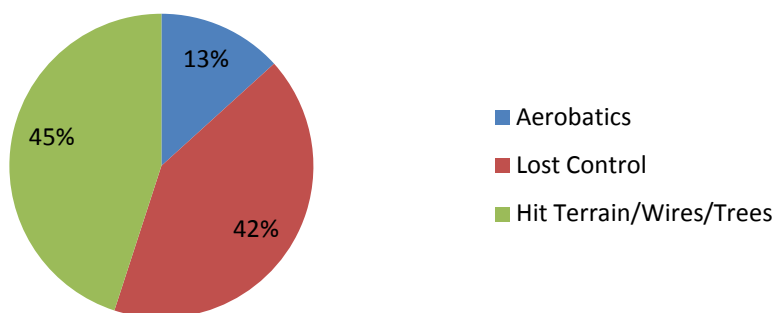
graf. 6 (počet nehod SE - nezatahovatelný podvozek rok 2005 a 2006) ⁸



graf. 7 (procentuální přehled smrtelného počtu nehod SE letadel s nezatahovatelným podvozkem) ⁸

⁸ data pro grafy jsou převzata z Nall Report 2006 a 2007 [1]

Nehody při manévrování v roce 2005



graf. 8 (letadla s nezatahovatelným podvozkem) ⁹

Nehody zapříčiněné počasím v roce 2005

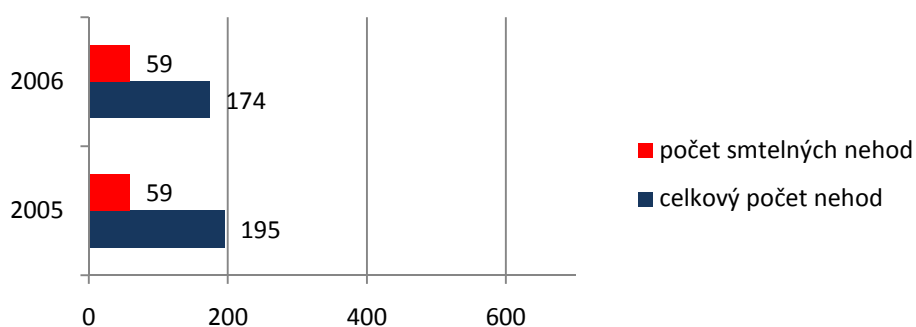


graf. 9 (letadla s nezatahovatelným podvozkem) ⁹

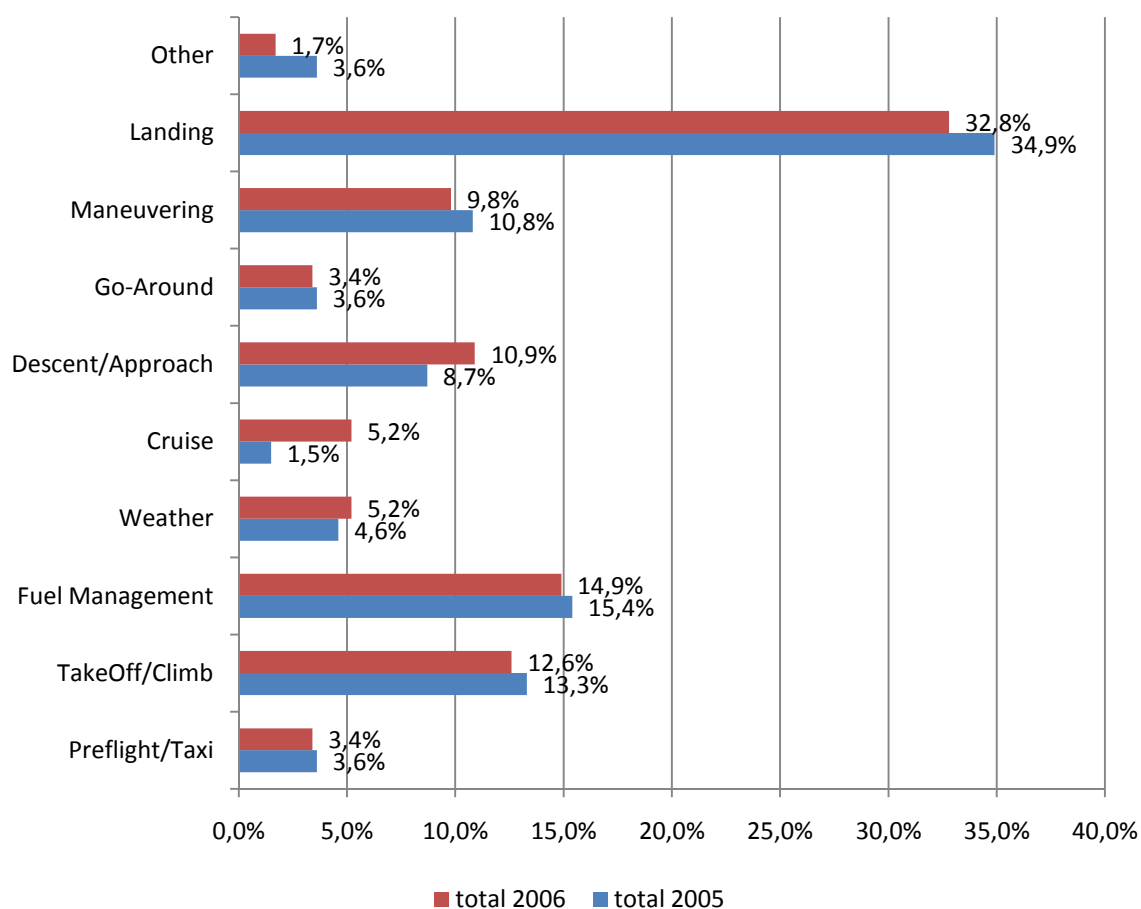
1.2.4 Nehodovost jednomotorových letadel se zatahovatelným podvozkem

Díky jejich relativně vysokým výkonům jsou jednomotorová letadla se zatahovatelným podvozkem velmi populárními pro soukromé použití, ale i pro pracovní dálkové lety. Rozsáhlejší možnosti používání tohoto typu letounu vystavuje pilota širšímu rozsahu počasí než tomu je u letadel, která se používají pro rekreační létání. Celkový počet nehod tohoto typu letounů zaznamenaných v roce 2005 byl 195 a z toho 59 smrtelných. Nejvýznamnějšími jsou v této kategorii, podobně jako u kategorie letadel s nezatahovatelným podvozkem, nehody při manévrování 30,5%, sestup před přistáním a přiblížení na přistání 22 %, nehody při cestovní fázi letu 13,6% a nehody způsobené počasím 11,9 % (viz graf 12). Za zmínku ještě stojí poznámka, kdy je nehoda způsobena selháním palivové soustavy, což má za následek 10,2% smrtelných nehod. Celkový počet nehod v této kategorii v roce 2005 dosáhl k počtu 195, z toho 59 mělo za následek smrt posádky (viz následující graf).

⁹ data pro grafy převzata z Nall Reportu 2006 [1]

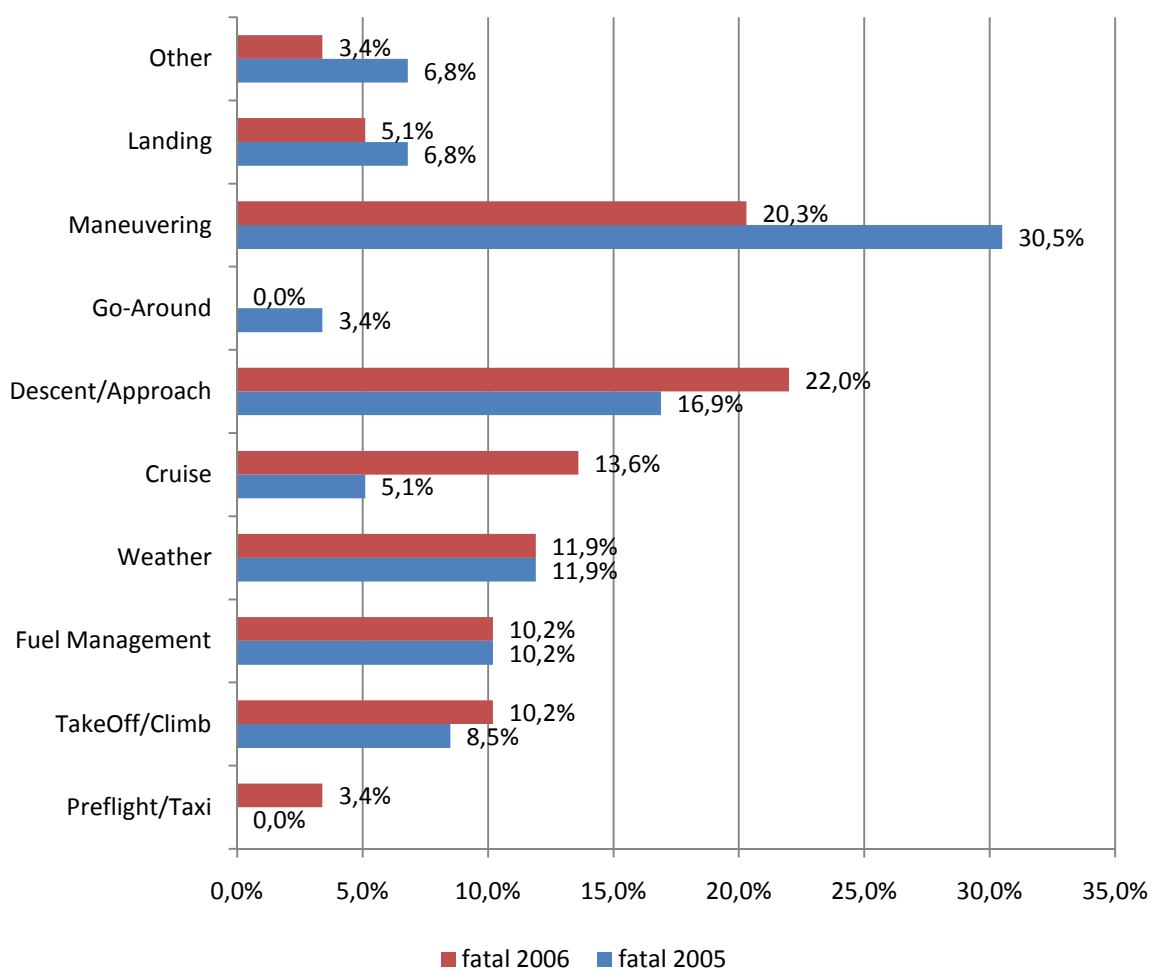


graf. 10 (počet nehod SE - zatahovatelny podvozok rok 2005 a 2006) ¹⁰



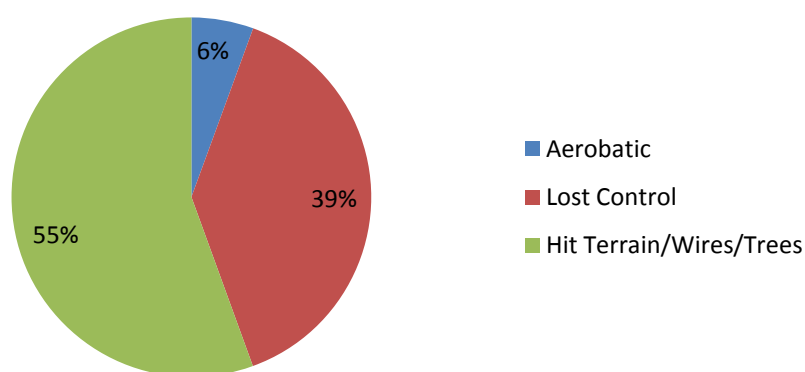
graf. 11 (procentuální přehled celkového počtu nehod SE letadel se zatahovatelny podvozok) ¹⁰

¹⁰ data pro grafy jsou převzata z Nall Reportu 2006 a 2007 [1]



graf. 12 (procentuální přehled smrtelného počtu nehod SE letadel se zatahovatelným podvozkem) ¹¹

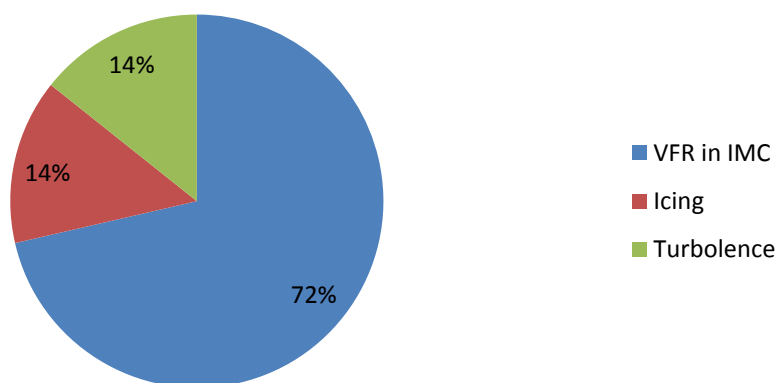
Nehody při manévrování v roce 2005



graf. 13 (letadla se zatahovatelným podvozkem) ¹¹

¹¹ data pro grafy jsou převzata z Nall Reportu 2006 a 2007 [1]

Nehody způsobené počasím v roce 2005



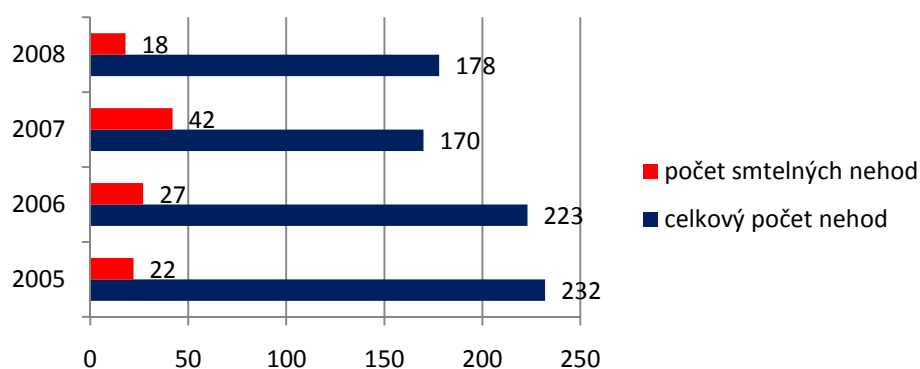
graf. 14 (letadla se zatahovatelným podvozkem) ¹²

1.2.5 Nehodovost způsobená poruchou technického charakteru

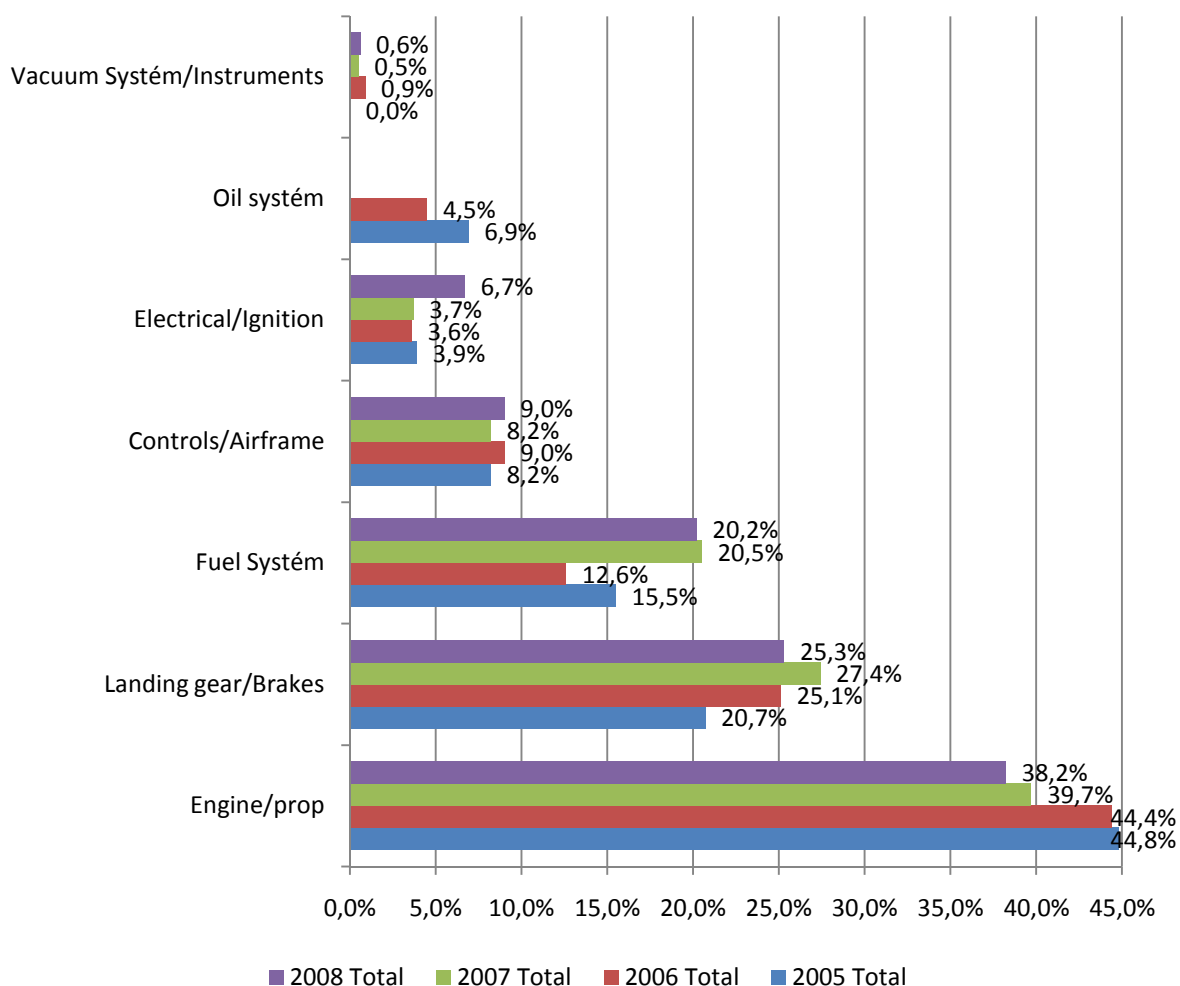
Za předpokladu, že jsou tato letadla kategorie GA správně udržovaná a provozovaná, pak můžeme říct, že jsou velmi spolehlivá. Pokud nastane nějaká porucha letadla nebo soustavy správně udržovaného letadla, tak je to většinou považováno za relativně vzácný jev. Technická porucha nepříznivě ovlivní funkci nebo výkon letadla. Ačkoli je pilot zodpovědný za letovou způsobilost letadla, tak pokud selže vybavení letadla, je to považováno za technickou příčinu nehody.

Porucha motoru nebo vrtule na letadle je zastoupena nejvíce ve způsobených nehodách, u kterých je prokázána jako technická příčina nehody. Je to v průměru 41,8% z celkového počtu nehod této kategorie letadel a z toho v průměru 58% se smrtelnými následky v letech 2005 až 2008. Ostatně i porucha ovládání kormidel a porucha trupu je zastoupena poměrně velkým procentem nehod se ztrátou na životech. Další soustavy, jejichž poruchou dochází k nehodě, jsou zobrazeny v grafech 16 a 17. Celkový počet nehod, u kterých bylo prokázáno, že byly způsobeny technickou poruchou, dosáhl v letech 2005 až 2008 v průměru počtu 200,75 a z toho 27,25 nehod mělo za následek smrt posádky. Počty nehod za roky 2005 až 2008 jsou zobrazeny v grafu 15. Opět můžeme pozorovat kolísavou tendenci snižování těchto počtů.

¹² data pro grafy jsou převzata z Nall Reportu 2006 [1]

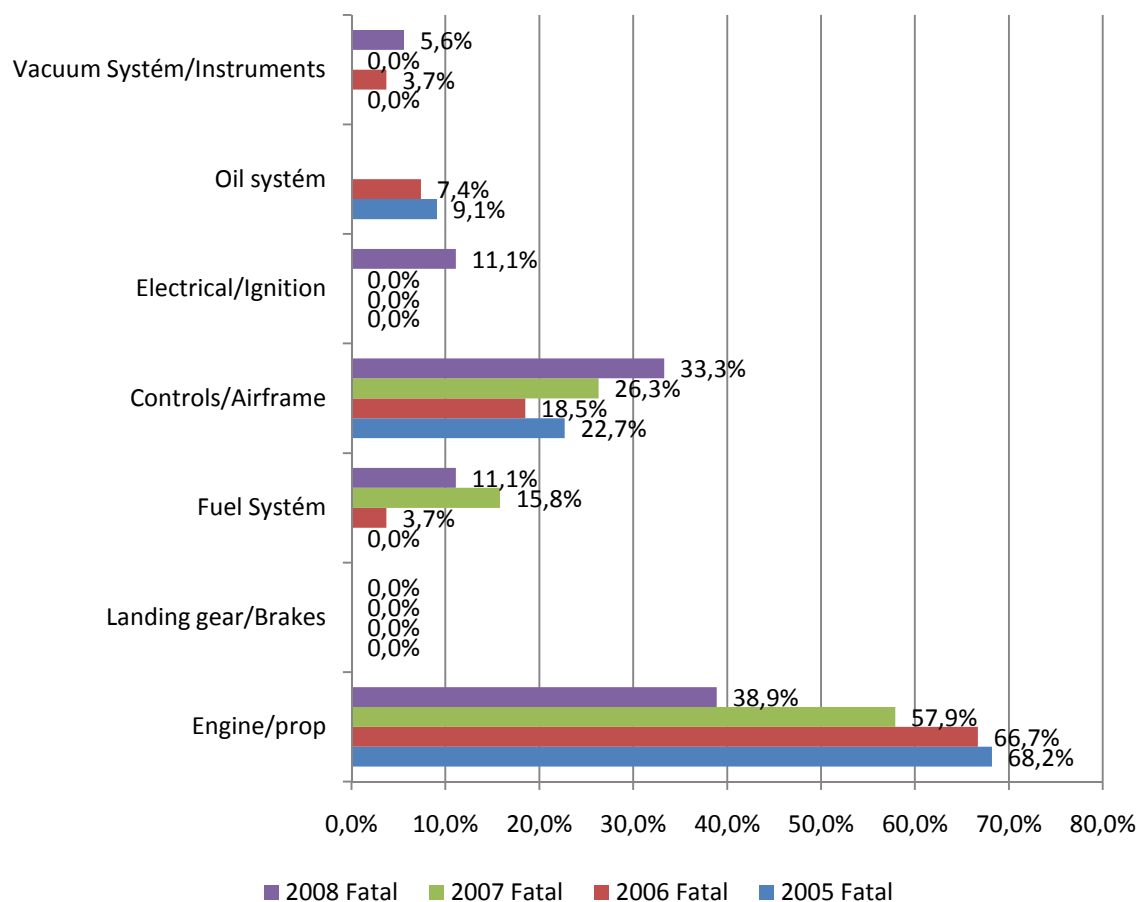


graf. 15 (celkový počet nehod technického původu)¹³



graf. 16 (procentuální vyjádření nehod způsobených poruchou technického charakteru v letech 2005-2008)¹³

¹³ data pro grafy jsou převzata z Nall Reportu 2006, 2007, 2008 a 2009 [1]



graf. 17 (procentuální vyjádření smrtelných nehod způsobených poruchou technického charakteru v letech 2005-2008) ¹⁴

Z grafů 16 a 17 a výše uvedených statistik vyplývá to, že poruchy přístrojů nebo elektrické instalace, které jsou předmětem této práce, jsou velmi málo časté oproti ostatním technickým poruchám. V případě přístrojového vybavení letadla způsobilo smrtelnou nehodu v průměru pouze 2,325% případů z celkového počtu smrtelných nehod a elektrické soustavy na palubě letadla také pouze v průměru 2,775% z celkového počtu smrtelných nehod. A celkový počet nehod je u přístrojového vybavení na velmi nízkém procentuálním zastoupení, a to pouhého půl procenta. Elektrická soustava způsobí mnohem více nehod z celkového počtu oproti přístrojovému vybavení, ale není to nijak markantní vzestup, pouze v průměru 4,475% v letech 2005 až 2009.

Závěrem této kapitoly je fakt, že nehody způsobené poruchami přístrojového vybavení nebo elektrickou soustavou jsou téměř mizivého charakteru v porovnání s celkovým počtem nehod a nalétaných hodin. A proto bych si dovil říci, že mýtus o nespolehlivosti elektrické soustavy se na základě výsledků těchto statistik opodstatněně vyvrací a do budoucna nutno říci, že se v letadle bude čím dále tím

¹⁴ data pro graf jsou převzata z Nall Reportu 2006, 2007, 2008 a 2009 [1]

více využívat elektrických zařízení pro ovládání funkcí letadla. Západní svět tomuto konceptu ve zkratce říká MEA neboli "More Electric Aircraft".

1.3 Celkové zhodnocení nehodovosti

V tabulce 4 je celkový přehled počtů nehod a nehodovostí v letech 1998 - 2008 v oblasti kategorie GA. Vypovídajícím faktem by mohl být počet nehod, který se zmenšuje, ale pokud se podíváme na další řádek na počet zúčastněných letadel při těchto haváriích, tak vidíme, že se toto číslo také zmenšuje, z čehož vyplývá, že tyto hodnoty jsou pouze informačního charakteru. A proto je na třetím řádku vyhodnocený poměr jedné nehody na 100 000 letových hodin, který už má mnohem lepší vypovídající charakter. Jeho hodnota se také snižuje, i když ne tak výrazně. V roce 1998 se stalo 6,81 nehod na 100 000 letových hodin a na konci zkoumaného období, což je rok 2008 se už stalo "pouze" 6,11 nehod na 100 000 letových hodin. Při pohledu na tato dvě čísla není snížení nijak výrazné, ale při procentuálním zhodnocení výsledek vypadá už mnohem lépe, neboť nehodovost na počet letových hodin se v průběhu zkoumaných 11 let snížila o 10,3%.

Při pohledu na nehodovost smrtelných událostí se snížil poměr nehoda / 100 000 letových hodin z 1,38 v roce 1998 na 1,11 v roce 2008. Procentuálně jde o snížení 19,57% , což je celkem povzbudivý fakt.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Celkem nehod v GA	1654	1655	1574	1486	1465	1498	1399	1423	1303	1385	1381
Počet letadel	1675	1673	1597	1503	1475	1513	1414	1438	1311	1397	1401
Nalétané hodiny (milióny)	24,3	27	26,1	23,6	23,3	23,7	22,9	21	21,5	21,4	22,58
Nehodovost (nehoda/100 000 LH)	6,81	6,13	6,03	6,3	6,29	6,32	6,11	6,78	6,06	6,47	6,11
Počet nehod se smrtelnými následky	335	301	297	299	307	306	286	290	267	252	251
Nehodovost smrtelných událostí (nehoda/100 000 LH)	1,38	1,11	1,14	1,27	1,32	1,29	1,25	1,38	1,24	1,18	1,11
Počet obětí na životech	626	560	527	573	527	576	528	506	497	449	464

tab. 4 (přehled nehod v letech 1998 - 2008) ¹⁵

¹⁵ data pro tabulku jsou převzata z Nall Reportu 2009 [1]

1.3.1 Rozdělení celkové nehodovosti do kategorií pilot / technika

V závěru této kapitoly bych chtěl tabulkou 5 procentuálně vystihnout míru přičinění pilota a technické poruchy na nehodách v letech 2005 až 2008, pro celkovou představu o hlavní příčině nehod letounů kategorie GA. Je vidět, že prokázaná technická příčina poruchy při nehodách se smrtelnými následky pro posádku je zastoupena "pouze" v 10,3 % případů oproti poměrně vysokým 77 %, kdy je prokázáno, že příčinou smrtelné nehody jsou pochybení pilota.

	2005	2006	2007	2008	průměr	vyjádřeno v %
celkový počet nehod	1423	1303	1385	1381	1373	100,0%
z toho smrtelných	290	267	252	251	265	19,3%
technická příčina	232	223	170	178	200,75	14,6%
z toho smrtelných	22	27	42	18	27,25	10,3%
zaviněno pilotem	1076	973	996	907	988	72,0%
z toho smrtelných	242	216	191	167	204	77,0%

tab. 5 (procentuální zastoupení příčiny poruchy) ¹⁶

Nejvíce smrtelných nehod způsobí pilot, a to průměrně 77%

Mnohem méně smrtelných nehod je způsobeno technickou poruchou, a to průměrně 10,3%

¹⁶ data pro tabulku jsou převzata z Nall Reportu 2006, 2007, 2008, 2009 [1]

2 Předpisy pro instalaci autopilotů

Pro všechny zástavby, systémy a vybavení je nutno dodržovat jistá doporučení a předpisy, které jsou tvořeny na základě dlouholetých zkušeností s provozem. V poslední době se začínají pozvolna v letadlech vyskytovat stále více prostředky, které zavádějí vyšší míru automatizace do kategorie letadel GA a i ty musí podléhat propracovaným požadavkům předpisů. Nejzákladnější a nejdůležitější požadavky předpisů CS 23 pro tato vybavení jsou uvedeny v následujících kapitolách.

2.1 CS 23.1309 Vybavení, systémy a zástavby

(a) Každá součást vybavení, každý systém a každá zástavba:

(1) Při plnění určené funkce nesmí nepříznivě ovlivňovat citlivost, funkci nebo přesnost:

(i) Vybavení nezbytného pro bezpečný provoz; nebo

(ii) Ostatních vybavení, pokud nejsou k dispozici prostředky informující pilota o takovém účinku.

(2) U jednomotorového letadla musí být navrženy tak, aby byla minimalizována nebezpečí pro letoun v případě pravděpodobné nesprávné činnosti nebo poruchy.

(3) U dvumotorového letadla musí být navrženy tak, aby se předcházelo nebezpečí pro letoun v případě pravděpodobné nesprávné činnosti nebo poruchy.

(4) U letounů kategorie pro sběrnou dopravu musí být navrženy tak, aby chránily před vznikem nebezpečí pro letadlo v případě nesprávné činnosti nebo poruchy.

(b) Konstrukce každé součásti vybavení, každého systému a každé zástavby musí být prověřena samostatně a ve vazbě na ostatní systémy a zástavby letounu, aby se zjistila závislost letounu na jejich funkci pro bezpečný let a přistání a u letounů, které nemají omezení na podmínky VFR, zda porucha systému výrazně nesníží schopnost letounu nebo schopnost posádky vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami. Každá součást vybavení, každý systém a každá zástavba určené těmito prověrkami jako takové, na jejichž správné činnosti závisí bezpečnost letu a přistání letounu, nebo jako takové, že jejich porucha by výrazně snížila schopnost letounu nebo schopnost posádky vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami, musí být navrženy tak, aby vyhovovaly následujícím doplňujícím požadavkům:

(1) Musí plnit svou určenou funkci za jakýchkoliv předvídatelných provozních podmínek.

(2) Jsou-li systémy a související součásti posuzovány samostatně a ve vazbě na ostatní systémy:

(i) Pravděpodobnost výskytu jakékoliv poruchy, která by mohla ohrozit bezpečnost letu a přistání letounu, musí být mimořádně nepravděpodobná (extremely improbable); a

(ii) Výskyt jakékoliv jiné poruchy, která by mohla výrazně snížit schopnost letounu nebo schopnost posádky vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami, musí být nepravděpodobný (improbable).

(3) Musí být poskytnuta varovná informace upozorňující posádku na nebezpečné provozní podmínky systému a umožňující jí provést příslušná nápravná opatření. Systémy, ovládání a připojené monitorovací a výstražné prostředky musí být navrženy tak, aby minimalizovaly chyby posádky, které by mohly vyvolat další nebezpečí.

(4) Vyhovění požadavkům pododstavce (b) (2) může být prokázáno analýzou a tam, kde je to nutné, vhodnými pozemními, letovými nebo stimulátorovými zkouškami. Analýza musí brát v úvahu:

(i) Možné způsoby vzniku poruchy včetně nesprávné činnosti a poškození způsobeného vnějšími vlivy;

(ii) Pravděpodobnost vícenásobných poruch a pravděpodobnost nezjištěných závad;

(iii) Výsledný vliv na letoun a osoby na palubě s ohledem na letovou fázi a provozní podmínky; a

(iv) Výstražné podněty pro posádku, požadované nápravné kroky a schopnost posádky odhalit závady.

(c) Každá součást vybavení, každý systém a každá zástavba, jejichž činnost je požadována pro certifikaci a vyžaduje přívod energie, je „nezbytnou zátěží“ napájecího systému. Výkonové zdroje a napájecí systém musí být schopny napájet následující zátěže v pravděpodobné provozní kombinaci a po pravděpodobnou dobu:

(1) Zátěže napojené k rozvodnému systému v normálním provozu.

(2) Nezbytné zátěže po poruše:

(i) Kteréhokoliv jednoho motoru u dvumotorových letounů; nebo

(ii) Kterékoli měniče nebo zařízení akumulujícího energii.

(3) Nezbytné zátěže, pro které je provozními předpisy požadován náhradní zdroj energie, po jakémkoliv poruše nebo nesprávné činnosti kterékoli napájecího systému, rozvodného systému nebo jiného užívaného systému.

(d) Při stanovení vyhovění pododstavci (c) (2), se může předpokládat snížení zátěží při monitorovacím procesu odpovídající požadavkům bezpečnosti schválených druhů provozu.

(e) Při průkazu vyhovění tomuto odstavci z pohledu elektrického systému a konstrukce a zástavby vybavení musí být vzaty v úvahu kritické okolní a atmosférické podmínky včetně vysokofrekvenční energie a účinků (přímých i nepřímých) zásahů blesku. Pro vybavení zajišťující generování elektrické energie, její rozvodu a využití, které je nezbytné nebo používané pro průkaz vyhovění této Hlavě, může být schopnost zajistit plynulou a bezpečnou činnost v předvídatelných podmínkách okolního prostředí prokázána zkoušením odolnosti proti vnějším vlivům, analýzou konstrukce nebo porovnáním se zkušenostmi získanými z předchozího srovnatelného provozu na jiných letounech.

(f) V tomto odstavci se výraz „systémy“ vztahuje ke všem pneumatickým systémům, kapalinovým systémům, elektrickým systémům, mechanickým systémům a systémům pohonných jednotek zahrnutým do konstrukce letounu s výjimkou následujících:

(1) Systémy pohonné jednotky, které jsou součástí certifikovaného motoru.

(2) Části letounu (jako křídlo, ocasní plochy, řídicí plochy a jejich systémy, trup, závěs motoru a podvozek a jejich související primární uchycení), jejichž požadavky jsou uvedeny v Hlavách C a D těchto CS-23.

2.2 CS 23.1329 Systém autopilota

Je-li zabudován systém autopilota, musí splňovat následující požadavky:

(a) Každý systém musí být navržen tak, aby autopilot mohl:

(1) Být rychle a spolehlivě vypnut piloty, aby se zabránilo jeho rušivému působení na jejich řízení letounu; nebo

(2) Být snadno překonán silou jednoho pilota, aby mu bylo umožněno řídit letoun.

(b) Je-li uplatněno ustanovení pododstavce (a)(1), musí na volantovém ředidle (na obou volantových řididlech, pokud letoun může být řízen z kteréhokoliv pilotního sedadla) na straně opačné než je páka připustí, nebo na řídicí páce (obou řídicích pákách, pokud letoun může být řízen z kteréhokoliv pilotního sedadla) umístěno rychlé vypnutí (nouzové) autopilota tak, aby ho bylo možno ovládat bez pohybu ruky z její normální polohy na řididle.

(c) Pokud není použita automatická synchronizace, musí každý systém mít zařízení, které pohotově udá pilotovi vzájemnou polohu ovládacího prvku řízení vzhledem k systému řízení, který ovládá.

(d) Každé ručně ovládané řízení činnosti systému musí být pro pilota snadno dosažitelné. Každé řízení musí pracovat ve stejné rovině a smyslu pohybu, jak je uvedeno v CS 23.779 pro řídicí prvky v pilotní kabině. Směr pohybu musí být zřetelně vyznačen na každém řízení nebo v jeho blízkosti.

(e) Každý systém musí být navržen a seřízen tak, že v rozsahu seřízení, které může provádět pilot, nemůže způsobit nebezpečné zatížení letounu nebo nebezpečnou odchylku letounu od dráhy letu při jakýchkoliv letových podmínkách odpovídajících jeho použití, a to při normálním provozu nebo v případě poruchy za předpokladu, že během přiměřeného času dojde k opravnému zásahu.

(f) Každý systém musí být navržen tak, aby jednotlivá porucha nevyvolala signalizaci předání ve více než jedné ose řiditelnosti. Jestliže autopilot sdružuje signály z pomocného řízení nebo dodává signály pro ovládání jiného vybavení, je požadováno spolehlivé vzájemné blokování a posloupnost zapojování tak, aby bylo zabráněno nesprávné činnosti.

(g) Musí být zajištěna ochrana proti nežádoucímu vzájemnému ovlivňování sdružených součástí v důsledku nesprávné činnosti.

(h) Pokud může být systém autopilota spojen s leteckým navigačním systémem, musí být zajištěny prostředky udávající letové posádce aktuální režim provozu. Polohový přepínač není jako takovýto prostředek indikace přijatelný.

2.3 CS 23.1331 Přístroje užívající zdroj energie

Pro každý přístroj používající zdroj energie platí následující:

(a) Každý přístroj musí být vybaven integrální vizuální signalizací napájení nebo odděleným ukazatelem napájení, který bude indikovat nedostatečné napájení pro zajištění správné činnosti přístroje. Je-li použit samostatný ukazatel, musí být umístěn tak, aby pilot využívající přístroje mohl ukazatel sledovat při minimálním pohybu hlavy a očí. Napájení (příkon) musí být snímáno v bodě vstupu do přístroje nebo v jeho blízkosti. U elektrických a vakuových/tlakových přístrojů je napájení považováno za odpovídající, když jsou napětí nebo vakuum/tlak v rámci schválených mezí.

(b) Zástavba a systémy dodávající energii musí být navrženy tak, aby:

(1) Porucha jednoho přístroje neovlivnila řádnou dodávku energie pro zbývající přístroje; a

(2) Porucha dodávky energie z jednoho zdroje nenarušila řádnou dodávku energie z kteréhokoliv jiného zdroje energie.

(c) Musí být k dispozici alespoň dva nezávislé zdroje energie (nepoháněné stejným motorem dvumotorového letounu) a ruční nebo automatické prostředky pro volbu každého zdroje.

3 Autopiloty

Autopilot je zařízení, které bylo vyvinuto pro delší lety a udržení nastaveného kurzu bez zásahu pilota a tím snižuje riziko nehody z důsledku vyčerpání posádky v případě, že by musela dávat neustálý pozor na kurz letu. Autopilot je zejména kombinace mechanického, elektromechanického nebo hydraulického zařízení a prvně bylo použito v letecké dopravě v roce 1912 Američanem Lawrenceem Sperrym, vyvinutým ve stejnojmenné firmě Sperry Corporation. V současné době se v letecké dopravě používají pokročilé počítačem řízené soustavy, které jsou schopny zajistit automatický let po předem posádkou zadané trajektorii. Podstatnou součástí těchto systémů jsou navigace GPS, kterými tento systém stanovuje okamžitou polohu letounu na zadané trajektorii. Autopilot je celkově navržen, aby obstarával jisté povinnosti, které jsou kladeny na pilota při dlouhodobém letu, a tím mu pomohl ve vykonávání jeho činností a zabránil tak rychlému vyčerpání pilotových sil. Autopilot je propojen s gyroskopem pro měření sestupových úhlů a výškoměrem pro řízení výškovky pomocí elektrických servomotorů. Když se podíváme na vybavenost letadel moderními autopiloty, tak zjistíme, že ne všechna letadla ho mají. Především starší a menší letadla nejsou vybavena autopiloty, jako jsou letadla pro 19 a méně

cestujících a letadla, která jsou určena pro kratší letové dráhy se dvěma piloty na palubě. Ale naopak letadla s více jak 20 pasažéry na palubě musí být vybavena autopilotem, což je přímo v požadavcích předpisů, ale tato kategorie letadel se už netýká obsahu této práce. Celkově jsou pro malá letadla tři stupně kontroly autopilotem. Jako základní je jednoosý systém, a to pouze v ose řízení křidélek. Další jsou dvouosé systémy, které ovládají ještě navíc výškové kormidlo letounu a jako třetí stupeň jsou tříosé systémy, které přidávají ještě osu zatáčení, ale tento stupeň kontroly už není požadovaný v malých typech letadel.

3.1 Přehled autopilotů pro danou kategorii letadel

Certifikované autopiloty vyráběné pro tuto skupinu letadel jsou vyráběny zejména firmami S-TEC a Bendix/King. Pro přehled uvedu několik zástupců od těchto výrobců, které se zejména používají.

3.2 S-TEC

S-TEC je systém automatického řízení od firmy COBHAM, která sídlí v Mineral Wells v Texasu.

3.2.1 S-TEC 55¹⁷



Jedná se o autopilota kontrolujícího 2 osy, a to osu klopení a klonění. Tento systém je v provedení jednoho panelu a je kombinací programovatelného počítače, zobrazujícího zařízení a zesilujícího prvku pro servořízení. Obsahuje také VOR (VHF omni-range) a LOC (localizer) ve frekvencích 108 až 117.95 MHz. Může být také propojen s RNAV, GPS nebo LORAN systémem a taky s jakýmkoliv radio rozhraním a LCD. Speciální tlačítko pro přiblížení (approach) umožňuje pilotovi zvolit zvýšenou citlivost pro VOR, LORAN nebo GPS přiblížení. Vertikální rychlost se dá řídit s přesností na 100'. Tento systém umožňuje také udržování nadmořské výšky a je vybaven varováním odchýlení se od přednastaveného kurzu.

¹⁷ specifikace a informace pro popis získány z www.aerospace.com [11]

SPECIFIKACE:

Systémové požadavky:

Průměrný provozní proud: 1.0 A/14 VDC, 0.5 A/28 VDC, Max. Proud: 5.0 A/14 VDC, 3.0 A/28 VDC

Programmer/computer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,0 lbs (1,36 kg)

Rozměry: 6,25" x 1,5" x 10,6" (15,875 cm x 3,81 cm x 26,924 cm)

Turn coordinator:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 1,8 lbs (0,816 kg)

Rozměry: 3,275" x 3,275" x 5,62" (8,3185 cm x 8,3185 cm x 14,2748 cm)

Roll servo:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Pitch servo/Trim servo:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Snímač tlaku v nadmořské výšce:

Napěťové požadavky: 10 VDC (dodáváno programátorem/počítačem)

3.2.2 S-TEC 60-2¹⁸

Opět se jedná o dvouosého autopilota, který ovládá osu klopení a osu klonění. Systém obsahuje oddělený programátor / signalizátor, zatáčkový koordinátor, serva pro výškové kormidlo a křídélka, oddělený řídicí počítač a snímač nadmořské výšky. Obsahuje také selektor módů pro let (HDG), navigaci (NAV), nálet na reverzní kurz (REV), nastavení vertikální rychlosti letu a udržení nadmořské výšky (ALT), dále kontrolku trimu a varování pro nevyváženost trimů, opravu odchylky barometrického tlaku v módu udržení nastavené nadmořské výšky. Dále obsahuje módy VOR, LOC, LOC pro sledování a zachycení reverzního kurzu. Obsahuje také ovladače pro vertikální rychlost při stoupání, ale také při klesání. VOR/LOC/GS varování při odchylce od kurzu.

SPECIFIKACE:*Systémové požadavky:*

Minimální proud: 0,5 A

Max. Proud: 3,0 A

Programmer/annunciator:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 1,9 lbs (0,8618 kg)

Rozměry: 3,3" x 3,3" x 5,2" (8,382 cm x 8,382 cm x 13,208 cm)

Turn coordinator:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 1,8 lbs (0,816 kg)

Rozměry: 3,28" x 3,28" x 5,62" (8,3312 cm x 8,3312 cm x 14,2748 cm)

¹⁸ specifikace a informace pro popis získány z www.aerospace.com [11]

Roll servo:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,3 lbs (1,4969 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Roll computer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,3 lbs (1,4969 kg)

Rozměry: 5,25" x 2,1" x 13,3" (13,335 cm x 5,334 cm x 33,782 cm)

Pitch computer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,3 lbs (1,4969 kg)

Rozměry: 5,25" x 2,1" x 13,3" (13,335 cm x 5,334 cm x 33,782 cm)

Pitch servo/Trim sensor:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Altitude pressure transducer:

Napěťové požadavky: 10 VDC (dodáváno pitch počítačem)

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

3.2.3 S-TEC 65¹⁹

Jedná se o dvouosý autopilot, který je schopen vést letadlo v ose klopení a klonění. Systém obsahuje oddělený programátor a signalizátor, zatáčkový koordinátor, serva výškového kormidla a křidélek, samostatný řídicí počítač a snímač barometrického tlaku. Obsahuje také selektor módů VOR/LOC/LOC s možností reverzního kurzu. Ovladače pro vertikální rychlost při stoupání, ale i klesání. Autopilot je také vybaven udržováním předem stanovené nadmořské výšky s automatickým nastavením výškovky. Nechybí ani detekce odchylky od kurzu. Programátor může být buď montován mimo palubní desku na držák, nebo instalovaný přímo do palubní desky. Samozřejmostí je monochromatický display.

SPECIFIKACE:*Systémové požadavky:*

Minimální proud: 0,5 A

Max. Proud: 3,0 A

Programmer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 0,6 lbs (0,2722 kg)

¹⁹ specifikace a informace pro popis získány z www.aerospace.com [11]

Rozměry: 5,14" x 2,0" x 2,0" (13,0556 cm x 5,08 cm x 5,08 cm)

Annunciator:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 0,9 lbs (0,4082 kg)

Rozměry: 3,42" x 1,6" x 6,5" (8,6868 cm x 4,064 cm x 16,51 cm)

Turn coordinator:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 1,8 lbs (0,8165 kg)

Rozměry: 3,28" x 3,28" x 5,62" (8,3312 cm x 8,3312 cm x 14,2748 cm)

Roll servo:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 2,9 lbs (1,3154 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Roll computer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,3 lbs (1,4969 kg)

Rozměry: 5,25" x 2,1" x 13,3" (13,335 cm x 5,334 cm x 33,782 cm)

Pitch computer:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 3,3 lbs (1,4969 kg)

Rozměry: 5,25" x 2,1" x 13,3" (13,335 cm x 5,334 cm x 33,782 cm)

Pitch servo/Trim sensor:

Napěťové požadavky: 14/28 VDC

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

Altitude pressure transducer:

Napěťové požadavky: 10 VDC (dodáváno pitch počítačem)

Hmotnost: 2,9 lbs (1,315 kg)

Rozměry: 3,75" x 3,75" x 7,25" (9,525 cm x 9,525 cm x 18,415 cm)

3.3 Bendix/King

Bendix/King je produktem firmy HoneyWell

3.3.1 KFC 150²⁰



Systém autopilota KFC-150 je možné instalovat do jednomotorových i dvumotorových letadel. Jedná se opět o dvouosého autopilota. Obsahuje následující komponenty, které jsou vyobrazené na obrázku.

KS 177 Pitch Servo
KS 178 Roll Servo
KS179 Trim Servo
KA 185 Remote Mode Annunciator
KC 191/192 Flight Computer

a jejich propojení je na obrázku 1



obr. 1 (propojení systému BK KFC 150)²⁰

²⁰ vyobrazení propojení je z www.blueangelaviation.com [13]

3.3.2 KFC 200²¹



Modernějším autopilotem je KFC 200, který obsahuje více ovládacích prvků pro maximální pohodlí posádky.

KA 118 Demodulator
KS 270/270A Pitch Servo,
KS 271/271A Roll Servo,
KS 272/272A Pitch Trim Servo,
KAS 285 Mode Annunciator,
KC 290 Mode Controller,
KC 295 Flight Computer,
KC 296 Yaw Computer

a jejich vyobrazené propojení je na obrázku 2

²¹ specifikace, informace o systému a schéma rozložení převzata z www.blueangelaviation.com [13]



Jednoduchý design přispívá k poměrně lehkému ovládání tohoto systému a umožňuje snižovat pracovní zátěže více než předchůdce KFC 200. Pro zvětšení přesnosti a výkonu jednotky má systém ve svém pokročilém algoritmu využito také digitální rozhraní s GPS a EFIS.

²³ specifikační data a informace získány z www.bendixking.com [13]

Letadla, do kterých je možno instalovat tento systém:

Beech A36/B36TC Bonanza
 Beech 58/58A Baron
 Commander 114B/114TC
 Mooney M20M
 Mooney M20R
 Mooney M20S
 Piper PA46-350P Malibu Mirage
 Socata TB20
 Socata TB 21
 Piper PA34-220T Seneca
 Beech 95-C55, C55A, D55, D55A, E55, E55A
 Cessna 421C

SPECIFIKACE:

Programmer:

Napěťové požadavky: 28 VDC (0,6A)
 Hmotnost: 3,2 lbs (1,45 kg)
 Výškové rozhraní: od -1000 do 35 000 ft (od -304,8 do 10668 m)
 Rozměry: 6,306" x 1,665" x 11,26" (16,02 cm x 4,23 cm x 28,60 cm)

KS 27XC Servo Actuator:

Rozměry: 3,925" x 4,675" x 4,605" (9,970 x 11,875 x 11,697 cm)
 Napěťové požadavky: 28 VDC (4,0A max)
 Výškové rozhraní: od -1000 do 35 000 ft (od -304,8 do 10668 m)
 Hmotnost (se servem): KS 270C: 3,5 lbs. (1,58 kg.)
 KS 271C: 3,2 lbs. (1,45 kg.)
 KS 272C: 3,1 lbs. (1,40 kg.)

KA 285A Remote Mode Annunciator:

Rozměry: 3,550" x 1,187" x 5,50" (9,02 x 3,01 x 13,97 cm)
 Hmotnost: 0,73 lbs. (0,33 kg.)
 Napěťové požadavky: 28 VDC (1,0A max)
 Výškové rozhraní: od -1000 do 35 000 ft (od -304,8 do 10668 m)

3.3.4 KFC 325²⁴



Ačkoli byly vyvinuty pro jedno pilotní IFR lety, tak v business turbovrtulových letounech se staly důmyslnými přístroji s vysokým výkonem v komplexní přístrojové desce. Dnes se do turbovrtulových letadel začlenily výkonnější motory, vyvinuly se složitější draky a používá se pokročilá avionika. Tato letadla se musí pohybovat v přeplněném ATC prostředí. Tyto všechny důsledky volají po použití velmi spolehlivého letového kontrolního systému, který by plnil požadované funkce bez ohledu na počasí. Systém KFC 325 odpovídá na všechny tyto otázky svou precizností a spolehlivostí. KFC 325 je digitální autopilot navržen tak, aby mohl řídit všechny tři letové osy a mohl být instalován spolu s klasickým elektromechanickým IFR nebo s elektronickým IFR (EFIS - Electronic Flight Instrument systems). Systém podstatně snižuje nároky na pracovní zatížení posádky a výrazně zpřjemňuje let.

²⁴ informace získány z www.bendixking.com [13]

4 Vybavení letounu pro lety IFR (Instruments Flying Rules)

Jelikož se letadla nepoužívají jen k osobnímu, příležitostnému létání, ale zejména na delší služební lety nebo pro přepravu osob, tak již není zaručeno, že po celý let budou panovat optimální letové podmínky, kdy pilotovi postačí vizuální kontakt se zemí nebo tzv. srovnávací navigace. Letadlo, které je certifikováno pro lety v noci nebo všeobecné vzato v IFR podmínkách, které zahrnují i lety v mracích nebo za špatného počasí, musí být vybaveno přístroji, které pilota informují o poloze letounu v prostoru a navigační poloze vůči danému bodu na zemi. Vybavení moderních letadel v kategorii GA obsahuje propojení autopilota a zmiňovaného vybavení IFR a toto propojení umožňuje pilotovi využívat pokročilejší funkce! Přístroje vyžadované předpisy jsou popsány v následujících kapitolách.

4.1 Porovnání VFR a IFR letu

Nutnost výbavy letounů pro IFR lety je zásadní při porovnávání způsobu létání, neboť pro VFR a IFR lety platí jiná pravidla. V následujících dvou podkapitolách budu pro názornost citovat popis těchto dvou odlišných typů letu z publikace uvedené v poznámce pod čarou.

4.1.1 Let podle pravidel VFR (Visual Flight Rules)²⁵

je takový let, při kterém pilot vede letadlo pomocí tzv. srovnávací navigace, to znamená že zvolenou trať, zakreslenou na mapě, srovnává se skutečně prolétávanou trasou na zemi. Okamžitou polohu letadla vyhodnocuje pohledem ven z kabiny a na základě tohoto vjemu provádí korekce ve směru. Kromě toho pilot letící podle pravidel VFR je povinen zajišťovat rozestup od překážek a od ostatního letového provozu.

4.1.2 Let podle pravidel IFR (Instrument Flight Rules)²⁵

je takový let, při kterém pilot vede letadlo pomocí informací, získaných z palubních přístrojů, což umožňuje provádět lety v noci, v mlze a v oblačnosti. Okamžitou polohu letadla vyhodnocuje pomocí odchylek palubních zařízení a na základě toho provádí korekci ve směru. V některých případech může pilot letící podle pravidel IFR vést letadlo také pomocí srovnávací navigace, avšak téměř nikdy nezajišťuje rozestupy od ostatního letového provozu. Ty zajišťuje řídicí letového provozu. Rozestupy od překážek zajišťuje velitel letadla. Pravidla pro lety VFR i IFR jsou specifikovány v předpise L-2.

²⁵ Citace z publikace "Postupy pro lety podle přístrojů, Ing. Vladimír Soldán" [2]

4.2 Nutná výbava letounu pro IFR lety

Dle Jar-OPS 1.650/1.652 musí letadlo pro IFR lety nebo lety v noci minimálně obsahovat přístroje uvedené v následující tabulce (tab. 6).

přístroj	Jeden pilot (do 5700 kg)	Dva piloti (do 5700 kg)	letadla nad 5700 kg
Magnetický kompas	1	1	1
Přesné hodiny	1	1	1
Teploměr vnějšího vzduchu	1	1	1
Citlivý barometrický výškoměr	2 pozn. 5	2 pozn. 5	2 pozn. 5
Rychloměr	1	2	2
Vyhřívaný pitot.-statický systém	1	2	2
Signál poruchy vyhřívaného pitot.-statického systému	-	-	2
Variometr	1	2	2
Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu nebo přístroj pro koordinovanou zatáčku	1 pozn. 4	2 pozn. 4	2 pozn. 4
Umělý horizont	1	2	2
Směrový setrvačník	1	2	2
Záložní umělý horizont	-	-	1

tab. 6 (nutné přístrojové vybavení pro IFR)

Poznámky:

Čísla v tabulce udávají počet přístrojů požadovaných dle předpisů Jar-OPS 1.650/1.652

4 - Pro lety IFR nebo v noci se požaduje zatáčkoměr, nebo ukazatel skluzu s třetím (záložním) umělým horizontem, který je certifikován v souladu s JAR 25.1303 (b)(4) nebo rovnocenným požadavkem.

5 - Požadavku nevyhovují výškoměry s tříručičkovým ani s bubínkovým ukazatelem.

5 Specifikace soustav letounu a přístrojového vybavení

Pro specifikaci přístrojového vybavení a důležitých soustav neuvažují konkrétní typ letadla, ale obecně kategorii letadel pro osobní přepravu 4 osob včetně pilota. Na základě předchozích kapitol jsou v tomto letadle kategorie pro přepravu 4 osob včetně pilota tyto soustavy a přístrojové vybavení. Autopiloty byly již popsány v kapitole 3, a proto se budu dále zabývat přístroji a elektrickou soustavou letadla, která je přirozeně velmi důležitá pro bezpečný provoz.

5.1 Přístroje vyžadované předpisy

Jar-OPS 1 stanovuje minimální přístrojové vybavení, které musí být na palubě letadla, které je určeno pro IFR lety nebo lety v noci. V následujících podkapitolách budu popisovat zmiňované přístroje a jejich základní funkce.

5.1.1 Magnetický kompas

Magnetický kompas je nejzákladnější ukazatel směru, který se nachází na horním okraji palubní desky letounu, v přímém vizuálním poli pilota pro dokonalý přehled o směru letu. Jeho polohu také udává i jeho funkce, neboť pracuje s magnetickými poli, tak by měl být v co největší vzdálenosti od kovových součástí letounu, a právě proto je výše zmiňovaná poloha nejideálnější. Jedná se zejména o záložní zdroj těchto informací, neboť pilot primárně využívá přesnější přístroj na palubě letadla, jako je HSI (Horizontal Situation Indicator). Magnetický kompas a jeho polohu zobrazují obrázky 3 a 4.



Silva kompas 58

obr. 3 (magnetický kompas)²⁶

²⁶ zdroj obrázku www.aeroweb.cz [14]



obr. 4 (umístění magnetického kompasu v letadle)²⁷

5.1.2 Přesné hodiny

Palubní hodiny jsou na palubě letadla z důvodu, aby pilot měl přehled o časovém úseku, který uletí na dané trati v letovém plánu. Jsou důležité především pro správnou navigaci.



obr. 5 (palubní hodiny)²⁸

5.1.3 Teploměr vnějšího vzduchu

Tento přístroj zobrazuje venkovní teplotu vzduchu pro snadnou identifikaci námrazových podmínek, kdy je nutné dbát zvýšené pozornosti pro zajištění správné funkce pitot-statického systému.

²⁷ zdroj obrázku: airliners.net [15]

²⁸ zdroj obrázku: www.aeroweb.cz [14]



obr. 6 (OAT indikátor)

5.1.4 Citlivý barometrický výškoměr

Barometrický výškoměr je závislý na statickém tlaku, který je přiváděn od pitot-statické soustavy přímo k výškoměru. Jeho poloha je stanovena na základě standardů a předpisu CS-23.1321 vpravo od horního středního ukazatele (viz obr. 7).

obr. 7 (pohled na hlavní palubní přístroje)²⁹

5.1.5 Rychloměr

Indikátor rychlosti je spolu s výškoměrem jeden z nejdůležitějších přístrojů na palubě letadla, jeho poloha je podle standardů a požadavku předpisu CS-23.1321 stanovena vlevo od horního středního přístroje (viz obr. 7). Pro jeho správnou funkci

²⁹ zdroj obrázku: www.airliners.net [15]

je třeba zajistit přístup dvou tlaků, a to celkového a statického z pitot.-statického systému.

5.1.6 Vyhřívání pitot.-statický systém

Pitot.-statická soustava je na palubě letadla velice důležitá neboť poskytuje hodnoty celkového a statického tlaku pro rychloměr a výškoměr. Bez těchto dvou přístrojů pilot nemůže bezpečně pokračovat v letu za podmínek IFR. Vyhřívání je zajištěno pomocí elektrických vyhřívacích článků.

5.1.7 Signál poruchy vyhřívání pitot.-statického systému

Vyhřívání této soustavy je také velmi důležité, protože i v malé nadmořské výšce mohou panovat námrazové podmínky a pokud by pitot.-statická soustava zamrzla, není dále schopna poskytovat hodnoty důležitých tlaků, které jsou potřebné pro výškoměr a rychloměr. Pokud by vyhřívání nefungovalo, tak tento signál musí neprodleně informovat pilota o této poruše a pilot by měl okamžitě provést daná protipatření.

5.1.8 Variometr

Variometr slouží pro indikaci vertikální rychlosti letu jak už stoupání, tak klesání. Nejčastější umístění na palubní desce je zobrazeno na obrázku 7.

5.1.9 Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu nebo přístroj pro koordinovanou zatáčku

Zatáčkoměr se nejčastěji vyskytuje v kombinaci s příčným sklonoměrem (viz obr. 8). Jeho funkce zaručuje pilotovi zobrazení skluzové či výkluzové zatáčky a informace o prováděné zatáčce.



obr. 8 (Zatáčkoměr s ukazatelem skluzu)

Koordinátor zatáčky je běžnější v novějších letadlech a zobrazuje zároveň náklon letadla a výkluzovou či skluzovou zatáčku. Od klasického zatáčkoměru se liší skloněním rámu derivačního gyroskopu od podélné osy letounu o úhel 30°, což umožňuje zobrazení naklonění jak okolo podélné osy, tak i kolem osy svislé. Zobrazení koordinátoru zatáčky je na obr. 7.

5.1.10 Umělý horizont

Umělý horizont zobrazuje posádce polohu letadla v prostoru, když panují IFR podmínky a pilot nemá vizuální kontakt s přirozeným horizontem. Pilot není schopen

podle vlastních biologicky daných schopností určit polohu letadla v prostoru, a proto je tento systém u větších a dvou pilotních letadel zdvojen nebo zálohován. Umístění na palubní desce zobrazuje obr. 7. Jelikož se jedná o velice důležitý přístroj, tak musí být zálohovaný dle Jar-OPS 1.650/1.652 u letadel o hmotnosti převyšující 5700 kg, jedná se tedy o třetí horizont na palubě letadla (letadla nad 5700 kg). Záložní funkce může být brána také v případě, kdy je letadlo létáno dvěma piloty, pak musí být umělý horizont na palubě pro každého pilota zvlášť i pro letadla o menší hmotnosti než 5700 kg.

5.1.11 Směrový setrvačnick

Plní funkci podobnou magnetickému kompasu, ale jeho princip je jiný, není závislý na magnetickém poli Země, ale má svůj vlastní gyroskopický setrvačnick s orientací osy otáčení kolmou na geografickou vertikálu, který udržuje správný směr.



obr. 9 (směrový setrvačnick)³⁰

5.2 Modernější uspořádání palubních přístrojů - Glass cockpit

V současné době se do letadel začínají mnohem častěji instalovat LCD obrazovky, které zobrazují veškeré informace pomocí dvou hlavních LCD panelů, tak zvaných PFD (Primary Flight Display), který zobrazuje letové navigační údaje a MFD (Multifunctional Flight Display), který zejména zobrazuje motorové údaje a doplňkové navigační údaje. Kokpity takto zpracované se označují jako "Glass cockpit". Důvod přechodu na tento způsob zobrazení letových údajů je přehlednější uspořádání palubních přístrojů na obrazovce a snadnějšího zobrazování navigačních údajů. Příklad takto moderně uspořádané palubní desky uvádím na obrázku 10. Jedná se o moderní palubní desku letounu Cessna 172. Na takto upravené palubní desce nesmí chybět nejdůležitější záložní přístroje, jako je rychloměr, umělý horizont a výškoměr, které při výpadku obou displejů zastupují ty nejdůležitější funkce potřebné pro let. V kapitole 7 pak uvádím návrh palubní desky dle nejmodernějších standardů.

³⁰ zdroj obrázku: www.aeroweb.cz [14]

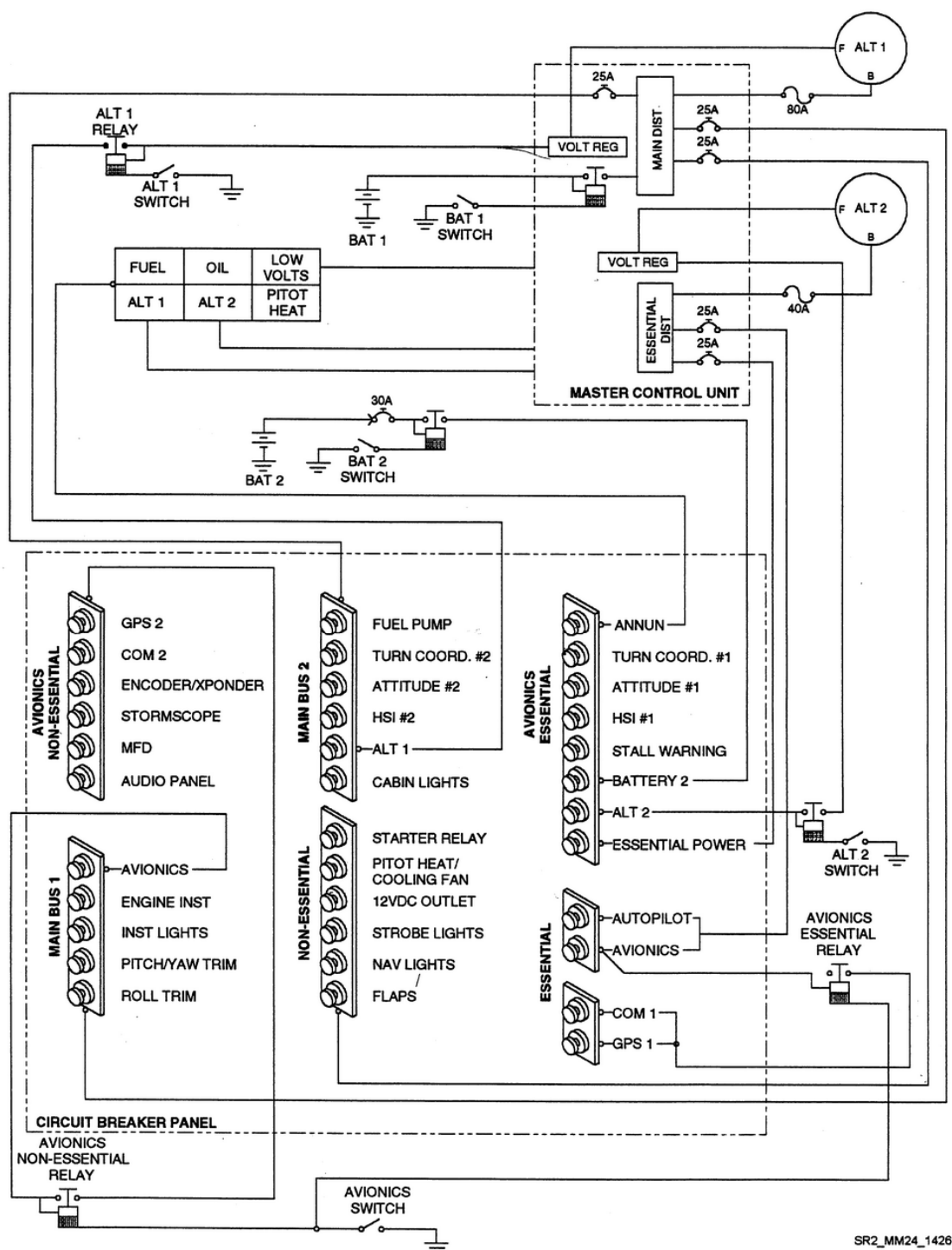
obr. 10 (příklad palubní desky vybavené LCD panely) ³¹

5.3 Elektrická soustava na palubě letounu

V této práci hlavně popisují letouny pro IFR lety a právě u těchto letounů je elektrická soustava velice důležitá, neboť při výpadku zdroje napájení dojde ke ztrátě životně důležitých funkcí letadla a povětšinou to má za následek katastrofickou událost. Těmto situacím je možno předcházet zdvojováním hlavních, ale i záložních zdrojů elektrické energie. Na palubě IFRového letadla je vždy 1 alternátor a 2 akumulátory pro minimalizaci hrožících nebezpečí při výpadku jednoho z nich. Což je dostačující řešení z hlediska požadavků předpisů CS-23.1351 a CS-23.1353. Pro přehlednou ukázkou uvádím příklad elektrického schéma letounu Cirrus SR-22, kde je vidět zálohování obou zdrojů, jak alternátoru, tak baterie (viz obr. 11). Zdroje jsou také napojeny na oddělené sběrnice pro maximální zajištění dodávky elektrické energie do kritických systémů. Při výpadku jednoho zdroje, je tak vždy k dispozici ještě jeden zdroj. V případě výpadku obou primárních zdrojů jsou na palubě ještě dva akumulátory a minimální doba, po kterou musí být schopny dodávat elektrickou energii je 30 minut, dle požadavku předpisu CS-23.1353. Za předpokladu, že výpadek obou primárních zdrojů najednou je extrémně nepravděpodobný, můžeme říct, že takto zálohovaný elektrický systém je vysoce spolehlivý a nemělo by docházet ke katastrofickým událostem z důvodu jeho selhání.

Pro potřeby diplomové práce uvažují, že hlavním (primárním) zdrojem elektrické energie na palubě letadla dle předpisů CS-23 pro malé IFR letouny je jeden alternátor o nominálním napětí 28 VDC. Jako sekundární zdroje elektrické energie jsou na palubě také dva samostatné akumulátory o napětí 24 V, které slouží pro start motoru a jako, jak jsem již uvedl výše, záložní zdroje elektrické energie při výpadku primárního zdroje.

³¹ zdroj obrázku: www.se.cessna.com [16]



obr. 11 (schéma el. soustavy letounu Cirrus SR-22)³²

³² zdroj schématu: Maintenance Manual SR-22 [17]

6 FHA analýza

FHA analýza, jak už napovídá její název, provádí průzkum rizik funkcí letounu, nejprve popíše všechny funkce letounu a následně hodnotí důsledky ztrát těchto funkcí, zda dojde selháním ke kritické události nebo je ztráta té dané funkce minoritního charakteru. Je to nástroj, který primárně slouží právě k lokalizaci kritických funkcí, nikoliv přístrojů, či soustav a zde je nutné uvést, že FHA analýza se používá právě již při raném návrhu nového letounu, kdy ještě není k dispozici detailní konstrukční návrh soustav letounu. Výsledky analýz pak přímo ovlivňují konstrukci budoucích soustav letounu, včetně jejich zálohování. Hodnocení selhání funkcí se provádí pomocí tabulky 7, kde jsou uvedena slovní hodnocení (MINOR, MAJOR, HAZARDOUS, CATASTROPHIC) a jimi se hodnotí, zda ztráta té dané funkce je kritického charakteru a zda má za následek katastrofickou událost. Funkce se vypisují do tabulky podle vzoru, uvedeném v oběžníku AC-23.1309-1D.

6.1 Posouzení bezpečnosti ³³

a) Žadatel o certifikaci letounu je odpovědný za identifikaci a klasifikaci každého poruchového stavu a také za volbu metody pro posouzení bezpečnosti. Žadatel by měl brzy získat souhlas certifikačního orgánu o identifikaci poruchových stavů, jejich třídění a výběr přijatelných způsobů prokazování.

b) Funkční posouzení nebezpečnosti (FHA).

(1) Než začne žadatel o certifikaci letounu pokračovat v detailním popisu bezpečnostních rizik, tak musí být stanoveny FHA a funkce systému letounu v potřebném rozsahu a také postup analýz by měl být připraven předem. Posouzení může být provedeno s přihlédnutím ke zkušenostem z provozu, inženýrskému a operativnímu rozhodnutí, nebo provozním zkušenostem v tzv. deduktivním zkoumání funkcí od A až po Z. FHA je systematické a komplexní vyšetření letounu a funkcí systémů letounu pro identifikaci potenciálních účinků, které nemají vliv na bezpečnost letounu nebo mají minimální, značné, nebezpečné nebo katastrofické vlivy na bezpečnost letounu, které mohou nastat, a to nejen v důsledku poruchy či selhání dané funkce, ale také v důsledku normálních reakcí na neobvyklé nebo nadměrné vnější faktory. FHA se především týká operační zranitelnosti systémů a méně zahrnuje podrobný rozbor vlastních realizací funkcí.

³³ jedná se o překlad anglického originálu AC-23-1309-1D [5]

Klasifikace poruchových stavů	Bez vlivu na bezpečnost	Nezávažné (Minor)	Závažné (Major)	Nebezpečné (Hazardous)	Katastrofické (Catastrophic)
Důsledek pro letadlo	Žádný důsledek pro provozní schopnosti a bezpečnost	Mírné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Výrazné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Velké snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Běžně zahrnuje zkázu trupu
Důsledek pro cestující	Nepohodlí pro cestující	Fyzické potíže pro cestující	Fyzické strádání u cestujících včetně možných zranění	Vážné nebo smrtelné zranění jednoho cestujícího	Několikanásobné smrtelné zranění cestujícího
Důsledek pro letovou posádku	Bez důsledků pro letovou posádku	Mírný nárůst pracovního zatížení posádky nebo použití nouzových postupů	Fyzické potíže nebo značný nárůst pracovní zátěže	Fyzické strádání nebo nadměrné pracovní zatížení posádky narušuje schopnost plnit úkoly	Smrtelné zranění nebo zbavení způsobilosti
Rozdělení letadel:	Přípustné pravděpodobnosti (za 1 letovou hodinu)				
Třída 1 (Typicky SRE pod 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$
Třída 2 (Typicky MRE nebo STE pod 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$
Třída 3 (Typicky SRE, STE, MRE a MTE rovno nebo větší 6000 lb.)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-8}$
Třída 4 (Typicky Commuter - pro sběrnou dopravu)	Žádná požadovaná pravděpodobnost	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$

tab. 7 (posouzení pravděpodobnosti nastolení poruchy)³⁴

(3) FHA je inženýrský nástroj, který by měl sloužit již při navrhování letounu a podle potřeby by měl být i aktualizován. Především slouží k navrhování letounu na vysoké úrovni bezpečnosti! Mnoho systémů nepotřebuje příliš důkladnou analýzu návrhu systému podle návrhu žadatele pro určení klasifikace nebezpečnosti. FHA vyžaduje především zkušený inženýrský úsudek a včasnou koordinaci mezi žadatelem a certifikačním orgánem.

(4) Můžou být použity různé přístupy FHA v závislosti na rozmanitosti funkcí, které mají být analyzovány a v závislosti na vztahu mezi funkcí a systémem. Tam, kde

³⁴ Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. : Spolehlivost letadlové techniky - Přednáška 1.ppt [6]

existuje jasná korelace mezi funkcí a systémem a jsou-li systém a tedy i funkce propojeny vzájemně relativně jednoduchým vztahem, pak zde můžeme použít samostatnou FHA analýzu zvláště pro každou soustavu a tím pádem budou jejich aspekty důkladně posouzeny a následně mnohem snadněji pochopeny. Nicméně komplexní postupné souhrnné analyzování kompletních soustav letadla by mělo být použito tam, kde vztah mezi soustavou a funkcí není zdaleka tak jednoduchý a jejich propojení je viditelně složitější.

6) Klasifikace podmínek selhání není závislá na tom, zda je soustava nebo funkce vyžadovaná podle předpisu. Některé soustavy vyžadují zvláštní předpisy, jako např.: transpondéry, poziční světla atd., to vše může mít pouze potenciál drobné poruchy. Naopak, jiné soustavy nemusí být požadovány speciálním předpisy, jako jsou soustavy řízení letu a přistání, a ty mohou mít potenciál velkého, nebezpečného, nebo katastrofického selhání.

7) Klasifikace poruchových stavů by měla brát v úvahu všechny relevantní faktory. Mezi příklady faktorů selhání patří povaha nebo druh poruchy, který zahrnuje společný režim poruchy, poruchy systému v důsledku jiných poruch, počínání letové posádky v důsledku pracovní zátěže, degradaci výkonu letounu nebo sníží provozní schopnosti, a nebo vliv na správné fungování draku, atd. Je zvláště důležité zvážit faktory, které by mohly zmírnit nebo naopak zvýšit závažnost stavu selhání. Příkladem zmírňujících faktorů může být zachování provozně identické nebo podobné funkce, která by selhání té předchozí zastoupila, a tím by ostatní soustavy nebyly zasaženy ztrátou původní funkce. Příkladem zesilujícího faktoru může být zahrnutí nesouvisejících podmínek, které by snížily schopnosti posádky vyrovnat se s poruchovým stavem, jako je například zhoršené počasí nebo ztížené operační podmínky či jiné podmínky životního prostředí. Je žádoucí, aby schopnost soustavy informovat pilota o možných nebo skutečných podmínkách selhání byla včasná a šance na jejich odstranění v důsledku rychlého přijímání nápravných opatření ke snížení účinků kombinace škodných událostí tímto byla zvýšená. Takovýto přístup může snížit závažnost poruchového stavu.

8) Vzhledem k velkému počtu kombinací poruch či různým polehčujícím faktorům nebo charakteristickým účinkům na letoun a jiným podobným faktorům jsou specifické FHA a jiné související bezpečnostní analýzy výrazně odlišné pro každý typ letounu a konfigurace letounu. Tyto všechny různé možnosti brání v poskytnutí jednotného konkrétního příkladu FHA analýzy, která by ve všech oblastech zahrnovala veškerou instalaci letounů. A proto jsou poskytovány obecné příklady zdaleka nezahrnující kompletně všechny možnosti. Je důležité pochopit, že významné inženýrské rozhodnutí a obyčejný "selský rozum" jsou nezbytné ke stanovení konkrétní a přijatelné podoby hodnocení letounu a jeho soustav.

6.2 FHA jako prediktivní metoda

- se pokouší prozkoumávat účinky funkčních poruch částí soustav a hlavním cílem výsledků FHA je identifikovat nebezpečné podmínky, funkce selhání. Základní metoda FHA se provádí podle následujícího postupu. Z vhodné reprezentace se zvolí funkce v pořadí podle definice a chování funkce. Shrnu se hypotetické druhy poruch, jako je například 'Ztráta funkce' nebo 'Funkce za předpokladu nebo 'Nesprávná činnost funkce (vysoká, nízká udávaná hodnota)'. Z tohoto výčtu se určí důsledky poruchy funkce a následně se vypracuje záznam přidružených rizikových faktorů, které se také odůvodní a doplní svojí závažností a pravděpodobností vzniku. FHA výsledky se obvykle zaznamenávají v tabulkách.

6.3 Kritické funkce čtyřmístného dopravního letounu dle FHA

Při vypracovávání FHA tabulek jsem volil funkce pro posouzení kritičnosti obecného čtyřmístného letounu pro osobní dopravu zejména z hlediska automatického řízení letu pomocí autopilota instalovaného na palubě letadla, z hlediska řízení letadla kormidly, protože při porušení ovládacích prvků kormidel dochází k zvýšeným nárokům na pilotáž a tudíž ke stavu, který je charakterizován už jako "HAZARDOUS". Dále jsem posuzoval elektrickou soustavu při dodávání elektrické energie k soustavám avioniky, která je u dnešních moderních letadel široce zastoupena a jejíž vypovězení služby má většinou už mnohem kritičtější hodnocení než předchozí skupina. Poslední, nejdůležitější skupinou posuzovanou z hlediska bezpečného letu s IFR letadlem je skupina přístrojového vybavení.

V následujících tabulkách uvádím pouze funkce, které při selhání vyžadují hodnocení "CATASTROPHIC" nebo "HAZARDOUS", tím pádem dochází k znemožnění dalšího letu a ztrátám na životech jak cestujících, tak posádky letounu, což je z hlediska bezpečnosti nepřípustné a na základě těchto analýz musí konstruktéři přicházet s řešeními, která tyto situace nejlépe zcela eliminují, a nebo při nejmenším alespoň omezují na minimum. Celková hodnocení, tj. "MINOR", "MAJOR", "HAZARDOUS" a "CATASTROPHIC" uvádím současně s těmito hodnoceními v souboru ucelených FHA tabulek v příloze na konci této práce. V FHA analýze nebudu také posuzovat funkce VRF neboť budu předpokládat, že porucha funkce u VFR nebude za jistých okolností překračovat hodnocení kritičnosti podobné funkce u IFR.

Popis fáze letu v tabulkách uvádím pomocí zkratk. Při popisování těchto fází je tento způsob nejprehlednější neboť rozdělení letu do devíti částí zcela vystihuje daný charakter letu. Pro přehlednost použitých zkratk uvádím tabulku (č. 8), ve které je uveden popis pro danou část a také je k této části letu přiřazena zkratka, kterou v následujících FHA tabulkách používám.

popis fáze letu	použitá zkratka
Stání na letišti (STANDING)	STD
Tažení nebo tlačení letounu (PUSH BACK/TOWING)	PBT
Pojezd (TAXI)	TXI
Vzlet (TAKE OFF)	TOF
Počáteční stoupání (INITIAL CLIMB)	ICL
Cestovní fáze letu (ENROUTE)	ENR
Manévrování při letu (MANEUVERING)	MNV
Přiblížení na přistání (APPROACH)	APR
Přistávací fáze letu (LANDING)	LDG

tab. 8 (zkratky pro popis fáze letu)³⁵

6.3.1 FHA analýza kritických funkcí pro systém autopilota

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
22-10	Celkové selhání autopilota	Minor / ENR	Minor / ENR	Hazardous / ENR	Pokud autopilot neplní svoji funkci, tak pilot autopilota odpojí a převezme manuální řízení, což nemá vliv na zvýšení pracovní zátěže na pilota při krátkých letech, ale při delším letu už ano. U klasifikace 3 hodnotím HAZARDOUS z důvodu matení pilota, autopilot může klonit/zatáčet/klopit aniž by to bylo pilotem požadováno.
22-10	Funkce odpojení autopilota	Catastrophic / ENR	Hazardous / ENR	-	V hodnocení 1 uvažuji nemožnost přetlačení autopilota pilotem (člověk) při selhání funkce odpojení autopilota. Hodnocení 2 předpokládá, že při poruše funkce odpojení autopilota pilotem (člověk) má pilot možnost přetlačení řídicích mechanismů autopilota a tím má možnost bezpečného, i když ztíženého letu.

tab. 9 (FHA tabulka kritických hodnocení pro soustavu autopilota)

³⁵ Zkratky převzaty z dokumentu ICAO - Commercial Aviation Safety Team : Phase of flight definitions and usage notes, February 2006 , Version 1.0.1 [7]

Autopilot je důležitá součást letounu, která výrazně zvyšuje bezpečnost letu za podmínek IFR, a proto jeho selhání má v jistých případech katastrofické následky. Např., jak je popisováno v tabulce 9, v případě selhání funkce odpojení autopilota může nastat případ, kdy piloti nemůžou přetlačit systém řízení autopilota a tím je pilotovi (člověk) ztížená pilotáž. Předpis CS-23-1329 přímo požaduje snadné odpojení autopilota a snadné přetlačení jedním pilotem.

Jelikož žádné databáze neudávají pravděpodobnosti nastolení poruchy funkce, tak uvádím pravděpodobnost poruchy celkového selhání autopilota, která tuto funkci nejlépe vystihuje

celkové selhání autopilota ³⁶: $3,94 \cdot 10^{-4} / \text{h}$ (HAZARDOUS, CATASTROPHIC)

6.3.2 FHA analýza kritických funkcí pro systém elektrické soustavy

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
24-00	Napájení el. sítě letadla sekundárním zdrojem (baterie)	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, APR	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, APR	-	Pokud nastane výpadek el. energie na palubě letadla v celkovém rozsahu (po výpadku alternátorů i záložních baterií), tak se tento stav dá charakterizovat jako katastrofický, neboť v podmínkách IFR letu nemáme za této situace k dispozici žádný přístroj a letoun se stává téměř neřiditelný, vždy má s největší pravděpodobností za následek nehodu s fatálními následky.
24-60	Zajištění el. sítě proti zkratu	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	-	-	Při poruše jisticích prvků dochází buď k rozpojení i vlivem standardních napětí a proudů a nebo k nerozpojení obvodu vůbec a to je pak horší situace, může dojít k přepálení obvodů nebo přístrojů, pro který je příslušný jistič instalován.

tab. 10 (FHA tabulka kritických hodnocení pro systém elektrické soustavy)

³⁶ System and Integrated Data Resource v.1.0, System reliability Center, Rome, New York 13440, 4007 [9]

V případě, že na palubě letadla dojde k celkovému výpadku elektrické energie, nastává katastrofický stav, neboť všechny důležité přístroje nejsou schopny podávat důležité informace pro další bezpečné pokračování v letu. Podmínkou pro takto přísné hodnocení je předpoklad, že hodnotíme letoun, který se pohybuje v podmínkách IFR. Požadavek předpisů CS-23.1351 stanovuje nutné podmínky provozu pro zdroje elektrické energie pro palubní elektrické soustavy.

Pro přehled uvádím pravděpodobnosti poruch zařízení, které zkoumanou funkci v FHA tabulce nejvíce vystihují.

sekundární zdroj el. energie (akumulátor) ³⁷: $1,3 \cdot 10^{-6} - 1,8 \cdot 10^{-4} / h$
selhání jističů ³⁸: $5,8 \cdot 10^{-5} / h$

Pro přehled uvádím pravděpodobnosti nastoupení poruchového stavu i pro prvky s hodnocením méně závažným než je HAZARDOUS

primární zdroj el. energie(alternátor) ³⁹: $9,6 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4} / h$

6.3.3 FHA analýza kritických funkcí pro soustavu ovládání kormidel

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
27-10	Funkce ovládání křídélek	Hazardous / MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání křídélek, tak by měl být ještě schopen nahradit tuto funkci pomocí směrovky, která sice omezeně, ale přesto umožňuje, i když pomalejší naklání. Pilot má větší nároky na pilotáž a záleží na jeho schopnostech. Požadavek na ovladatelnost charakterizuje CS-23.147.
27-20	Funkce ovládání směrového kormidla	Hazardous / MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání směrového kormidla, tak by měl být ještě schopen pokračovat v letu, sice obtížně, ale za pomoci křídélek a výškovky je let říditelný, i když obtížně a v závislosti na zkušenostech pilota. Požadavek na ovladatelnost charakterizuje CS-23.147.
27-30	Funkce ovládání výškového kormidla	Hazardous / ENR, MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání výškového kormidla, tak by měl být schopen pokračovat v letu za pomoci vyvažovacích plošek na výškovém kormidle, v předpisech je toto požadováno (CS-23.145(4)), pokud ale ztratíme i funkci trimu, tak catastrophic. Nároky na pilota jsou dosti zvýšené, neboť tato situace není možno trénovat.

³⁷ hodnota je převzata z přednášek pro kurz Palubní soustavy letadel II, doc. Ing. JIŘÍ HLINKA, Ph.D. [19]

³⁸ hodnota je převzata z elektronické databáze NPRD 95 [8]

³⁹ hodnota je převzata z přednášek pro kurz Palubní soustavy letadel II, doc. Ing. JIŘÍ HLINKA, Ph.D. [19]

27-50	Funkce aktivace vysouvání vztlakových klapek	Major / LDG	-	Catastrophic / LDG	Pokud vysouvání klapek nefunguje, tak pilot je nucen přistávat na vyšší rychlosti, což má za následek delší brzdnou dráhu, pouze v případě krátké přistávací dráhy je zde riziko vyjetí mimo přistávací dráhu a maximálně poškození podvozku o nerovnosti terénu. Ale to probíhá při nízkých rychlostech, takže by nemělo mít vliv na zdraví posádky, případné menší deformace by měl vstřebat trup letadla. Pokud ale letiště končí například srážem nebo větší nerovností, pak je situace kritičtější a už může dojít ke značnému poškození letadla, a proto hodnocení Major. Pouze při klasifikaci 3 uvádím hodnocení Catastrophic, protože nesymetrické vysunutí klapek může mít kritické důsledky pro letoun i posádku, kdy křídélka nejsou schopna přetlačit klopivý moment od nesymetrického vysunutí klapek za předpokladu porušení spojovací tyče, která zajišťuje symetrické vysunutí klapek.
55-20	Funkce vyvážení výškového kormidla	Major / ICL, ENR	Catastrophic / ICL, ENR	-	Když pilot nemá možnost vyvažovat výškové kormidlo, tak vznikají větší síly do řízení a to má za následek, že pilot může dříve dojít na hranici fyzických možností (CS-23.397), ale pokud pilot tuto závadu zjistí, měl by co nejdříve přistát a zajistit opravení této poruchy (viz. CS-23.161). V případě klasifikace 2 uvádím hodnocení catastrophic, kdy může dojít k přerušení táhel vyvažovací plošky a následkem toho začne na výškové kormidlo působit tzv. "flutter" který může způsobit až ztrátu výškového kormidla, a proto je žádoucí tuto situaci řešit zdvojením táhel ovládání trimů.

tab. 11 (FHA tabulka kritických hodnocení pro soustavu ovládání kormidel)

Soustava řízení letounu pomocí kormidel je velmi důležitou součástí letadla a měl by být maximálně spolehlivý. Předpis CS-23.147 charakterizuje požadavky letu při poškození křidélek nebo směrového kormidla. Měla by být prokázána řiditelnost letounu při výpadku jedné z funkcí.

Předpis CS-23.145 zase charakterizuje požadavek pro zajištěné řízení při poruše funkce výškového kormidla, a to tím že pilot by měl být schopen doletět na nejbližší letiště za pomoci vyvažovacích plošek na výškovém kormidle.

Pro nesymetrické vysunutí vztlakových klapek, které je charakterizováno nesymetrickým klopivým momentem, je předpisem CS-23.701 požadováno mechanické propojení každé z klapek a tím zajistit symetrické vysunutí vztlakové mechanizace nebo prokázání bezpečných letových charakteristik při jakékoliv kombinaci krajních poloh jednotlivých pohyblivých ploch. Ale první možnost vede na jednodušší průkaz bezpečnosti než druhá možnost, takže se předpokládá jako častější řešení při konstrukci těchto mechanismů.

Pro porušení táhel vyvažovací plošky výškového kormidla je předpisem požadováno zdvojení tohoto táhla a tím se značně sníží pravděpodobnost porušení této důležité funkce, neboť při porušení táhla nastává tzv. flutter a ten může způsobit celkovou ztrátu výškového kormidla.

Pro přehlednost uvádím hodnotu pravděpodobnosti týkající se funkce vztlakových klappek

elektromechanický aktuátor⁴⁰: $1,1 \cdot 10^{-3}/h$

(pozn.: hodnota je poskytnuta firmou HUGHES, která vyrábí vrtulníky)

6.3.4 FHA analýza funkcí nutného přístrojového vybavení

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
34-10	Zajištění celkového a statického tlaku Pitot-statickou soustavou	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Tato soustava je pro pilota velice důležitá, neboť pomocí této soustavy má pilot přehled o nadmořské výšce a rychlosti letu, což jsou jedny z nejdůležitějších veličin na palubě, doporučuje se tuto funkci zálohovat.
34-10	Funkce zobrazení aktuální výšky letu	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Při ztrátě této funkce není schopen pilot určit aktuální výšku letu, doporučuje se tyto funkce zálohovat. předpis Jar OPS 1.650 přímo vyžaduje u této kategorie letadel 2 výškoměry na palubě, ať už u jedno nebo dvou pilotního letu.
34-10	Funkce zobrazení aktuální rychlosti letu	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pilot může rychlost odvodit v případě ztráty této funkce pomocí nastavené přípustné motoru a parametrů motoru. V dnešních GLASS COCKPITECH je vždy tato funkce zobrazována na LCD panelu a ještě je zálohována analogovým přístrojem.
	Funkce signalizující poruchu vyhřívání pitot.-statické soustavy	Catastrophic / ENR, MNV	Major / ENR, MNV	Minor / ENR	Při poruše signalizace poruchy vyhřívání pitot.-statické soustavy dojde k situaci, kdy pilot neví o namrzání vstupního otvoru do pitot.-statické soustavy a neprovádí příslušná protiopatření, následuje ztráta funkcí výškoměru a rychloměru. Ale pokud

⁴⁰ elektronická databáze NPRD 95 [8]

					signalizace hlásí poruchu a porucha není, tak pilot jen přistane a ověří si informaci.
34-25	Funkce celkové polohy letadla v prostoru (umělý horizont)	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud mimo letadlo panují IFR podmínky a pilot nemá k dispozici umělý horizont, tak nastává kritická situace, neboť pilot nemá představu o poloze letounu, pilot není sám schopen určit polohu na základě svých biologických senzorů.

tab. 12 (FHA tabulka kritických hodnocení pro soustavu nutného přístrojového vybavení)

V tabulce uvádím kritické hodnocení pro funkci pitot-statické soustavy a funkci zobrazující aktuální rychlost letu. Pravděpodobnosti, které uvádím jsou pro nastolení poruchového stavu daného prvku, který funkce popisované v tab. 12 nejlépe vystihují.

pro výškoměr $2,27 \cdot 10^{-4}/h$

pro rychloměr $8,1 \cdot 10^{-5}/h$

Hodnoty jsou určeny z provozu civilních konvenčních transportních letadel.⁴¹

Funkce umělého horizontu je velmi důležitá pro provoz IFR letounu, protože pilot není sám schopen určit náklon letadla bez vizuálního kontaktu se zemí. Při ztrátě této funkce můžeme pouze hodnotit CATASTROPHIC, a proto se v letadlech tato funkce zálohuje.

Pravděpodobnosti kritických funkcí pro prvky, které danou funkci nejlépe vystihují:

umělý horizont⁴²: $3,5 \cdot 10^{-4}/h$

Pro přehlednost uvádím také pravděpodobnosti nastoupení poruchových stavů pro prvky, které nejlépe vystihují funkce popisované v tab. 12, a které mají hodnocení menší než HAZARDOUS

Hodnoty převzaty z elektronické databáze NPRD 95

magnetický kompas: $3,4 \cdot 10^{-5}/h$

časovač (hodiny) v letadle: $8,5 \cdot 10^{-6}/h$ (pozn.: hodnota spíše pro vojenská letadla)

⁴¹ elektronická databáze NPRD 95 [8]

⁴² elektronická databáze NPRD 95 [8]

variometr: $2,75 \cdot 10^{-4}/h$ (pozn.: transportní letadla pro komerční využití)

funkce informující o zatačení: $7 \cdot 10^{-4}/h$ (hodnota poskytnutá firmou HUGHES)
gyroskopický kompas: $1,1 \cdot 10^{-3}/h$ (gyrokompas-directional)

6.3.5 FHA analýza kritických funkcí pro soustavu centrálního varovného systému

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
31-50	Funkce centrálního varování o stavu funkcí na palubě označovaný jako CWS	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Klas 1 a 2) pokud porucha opravdu na letadle je a signalizace o ní neinformuje, pilot neprovádí protiopatření. Klas 3) Kontrolka svítí i když porucha není, pilot se snaží přistát a poruchu odstranit
31-50	Funkce CWS - vyhřívání pitot-statické soustavy je nefunkční	Hazardous / ENR, MNV	Major / ENR, MNV	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud není vyhřívání opravdu funkční, tak pitot-statická soustava zamrzne a tím pádem ztráta informací o výšce a rychlosti = CATASTROPHIC. Pokud kontrolka svítí a porucha skutečně není, tak pilot pouze přistane a provede kontrolu, nevede na katastrofickou událost

tab. 13 (FHA tabulka kritických hodnocení pro soustavu centrálního varovného systému)

Jak jsem již v tabulce 13 popisoval, tak ztráta funkce centrálního varovného systému je nebezpečná z toho důvodu, když na palubě daná porucha je a pilot o ní není informován, tak neprovádí protiopatření a následně může dojít ke katastrofické události v důsledku výpadku některé ze soustav. V některých případech je funkce CWS podporována hlavním přístrojem zobrazujícím přesnou hodnotu, a proto v tomto případě volím hodnocení MINOR, protože pilot by měl sledovat všechny přístroje po celou dobu letu.

Kritickou poruchou je nezobrazení výpadku vyhřívání pitot-statické soustavy při čemž pilot není informován o této skutečnosti a pokračuje v nebezpečné letové hladině dále a následkem této skutečnosti na letadle zamrzne pitot-statická soustava a pilot přijde o velmi důležité údaje, jako je rychlost letu a výška letu.

6.3.6 FHA analýza kritických funkcí pro soustavu palubních navigačních přístrojů

Pro soustavu navigačních přístrojů, kterou má pilot na palubě, není kritické hodnocení z toho důvodu, že pilot může vždy při výpadku jedné navigační soustavy použít jinou a tím dokončit let bez zjevných potíží.

Následující pravděpodobnost poruchy daného prvku na palubě nejvíce vystihuje funkce, které jsem popisoval v tabulce, která je uvedena v příloze číslo 6.

poruchu navigace k majáku VOR 7,36 * 10⁻⁴ / h

- hodnota převzatá z elektronické databáze NPRD 95

6.3.7 FHA analýza kritických funkcí pro soustavu palubních motorových přístrojů

Soustava palubních motorových přístrojů nevykazuje kritické hodnocení, mají spíše informativní charakter a pokud motor nepracuje správně, tak pilot má možnost tuto skutečnost poznat z odposlechu a následně provádět jistá protipatření. Pokud se akustický projev motoru jakkoliv změní, měl by pilot okamžitě s letadlem přistát na nejbližším letišti a zajistit prověření a pokud to bude zjištěna porucha, tak i její odstranění.

Hodnoty pravděpodobnosti nastolení poruchy prvku, který nejvíce vystihuje funkci zobrazení průtoku paliva k motoru. Tato funkce je spolu s dalšími popsána v tabulce, která je uvedena v příloze číslo 7

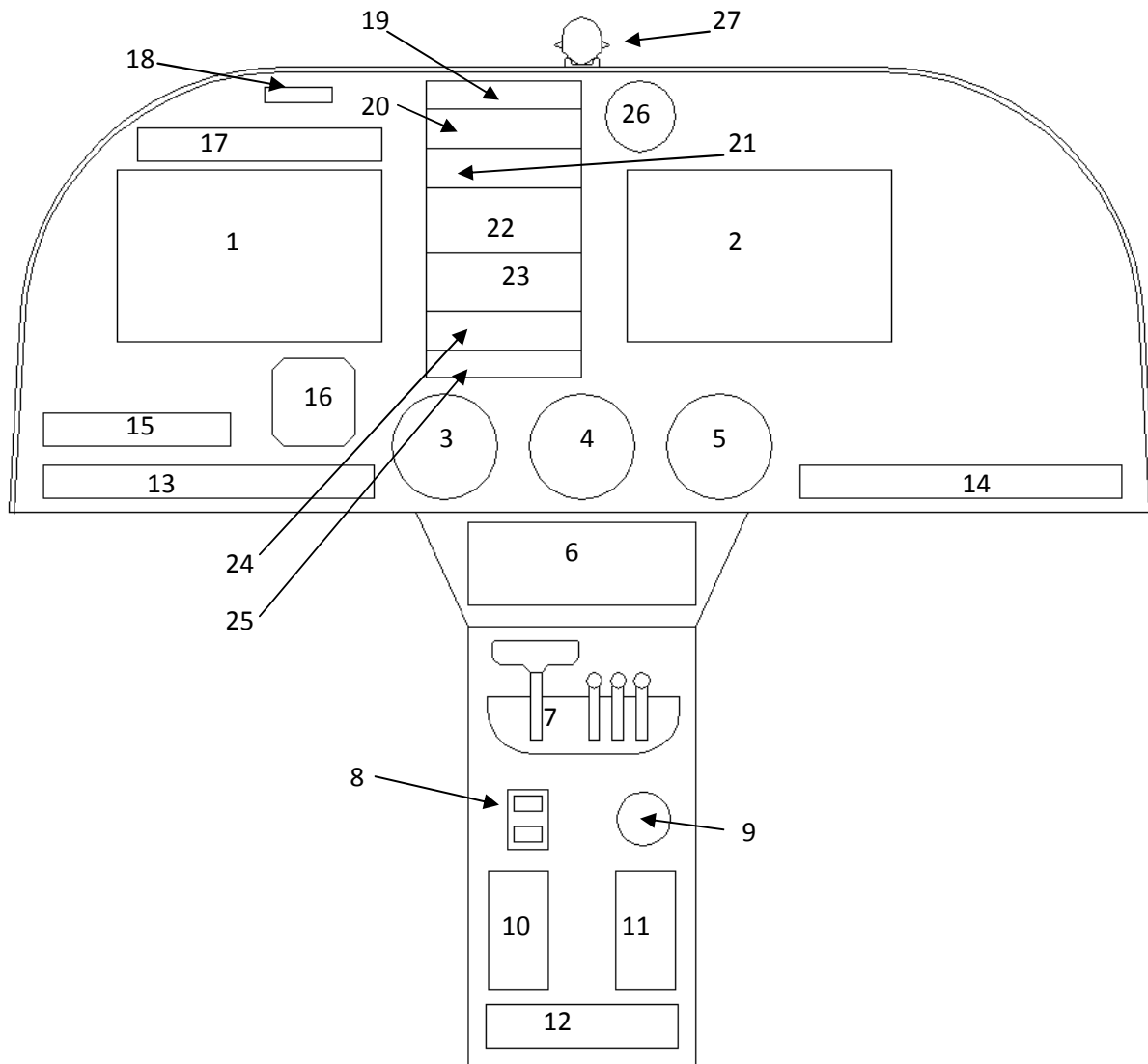
průtokoměr paliva k motoru ⁴³: $1 \cdot 10^{-3} / \text{h}$

7 Návrh uspořádání obecného přístrojového vybavení

Pro návrh přístrojové desky jsem zvolil hlavní kritérium přehlednost a dostupnost důležitých funkcí pro hlavního pilota. Vycházel jsem z typického uspořádání palubní desky pro moderní typy letadel dané kategorie, např. moderní verze letounů Cessna C-172, Cirrus SR-22, atd. Vyosené uspořádání palubních přístrojů směrem doleva, směřuje právě převážně k hlavnímu pilotovi, který tak má maximální přehled o právě probíhajících funkcích na palubě. Ovládání všech přístrojů by mělo být maximálně přístupné a pilot by neměl mít za letu sebemenší potíže s obsluhováním daných funkcí. Dominantou palubní desky je soustava dvou LCD displejů, která nahrazuje klasické navigační a motorové přístroje. Můžou být doplněny třetím LCD panelem menších rozměrů, který zobrazuje záložní informace pro případ výpadku některého z dominantních LCD panelů. Nesmějí chybět ani tři analogové záložní přístroje, kterými jsou rychloměr, umělý horizont a výškoměr. Mezi LCD obrazovkami se nachází panel přístrojů navigace, komunikace a autopilota, který má hlavní ovládací panel nad PFD přímo před pilotem, pod tímto panelem

⁴³ hodnota získaná z elektronické databáze NPRD 95 [8]

autopilota se nachází světelná signalizace poruchových stavů. Pod PFD je ještě panel spínačů. Na spodním okraji palubní desky jsou pojistkové panely, které jsou v případě potřeby výměny pojistky dostatečně dostupné. Ovládání podvozku a vztlakových klapek je spolu s pákami ovládání motoru a vrtule na středním panelu. Jsou zde i ovladače vyvážení výškového a směrového kormidla. Na středním panelu ještě najdeme audio zásuvky pro připojení náhlavních souprav. Toto uspořádání vyobrazuje obrázek 12.



obr. 12 (návrh palubní desky)

Popis navrhované přístrojové desky:

- 1 - PFD (primární letový display)
- 2 - MFD (multifunkční letový display)
- 3 - rychloměr (záložní přístroj)
- 4 - umělý horizont (záložní přístroj)
- 5 - výškoměr (záložní přístroj)
- 6 - panel spínačů

- 7 - ovládání motoru a vrtule
- 8 - ovládání vyvážení výškového kormidla
- 9 - ovládání vyvážení směrového kormidla
- 10 - ovládání vysunování podvozku
- 11 - ovládání vztlačových klapek
- 12 - zdířky pro audio vstup/výstup
- 13 - levý pojistkový panel
- 14 - pravý pojistkový panel
- 15 - panel spínačů
- 16 - sdružený digitální panel (záložní zobrazení funkcí)
- 17 - světelná signalizace poruchových stavů
- 18 - ovládací panel autopilota
- 19 - ovládání audia na palubě letadla
- 20 - hlavní řídicí jednotka autopilota
- 21 - DME (dálkoměr)
- 22 - COM 1, GPS 1, NAV
- 23 - COM 2, GPS
- 24 - 2ADF/ARK (automatický radiokompas)
- 25 - odpovídač
- 26 - palubní hodiny
- 27 - magnetický kompas

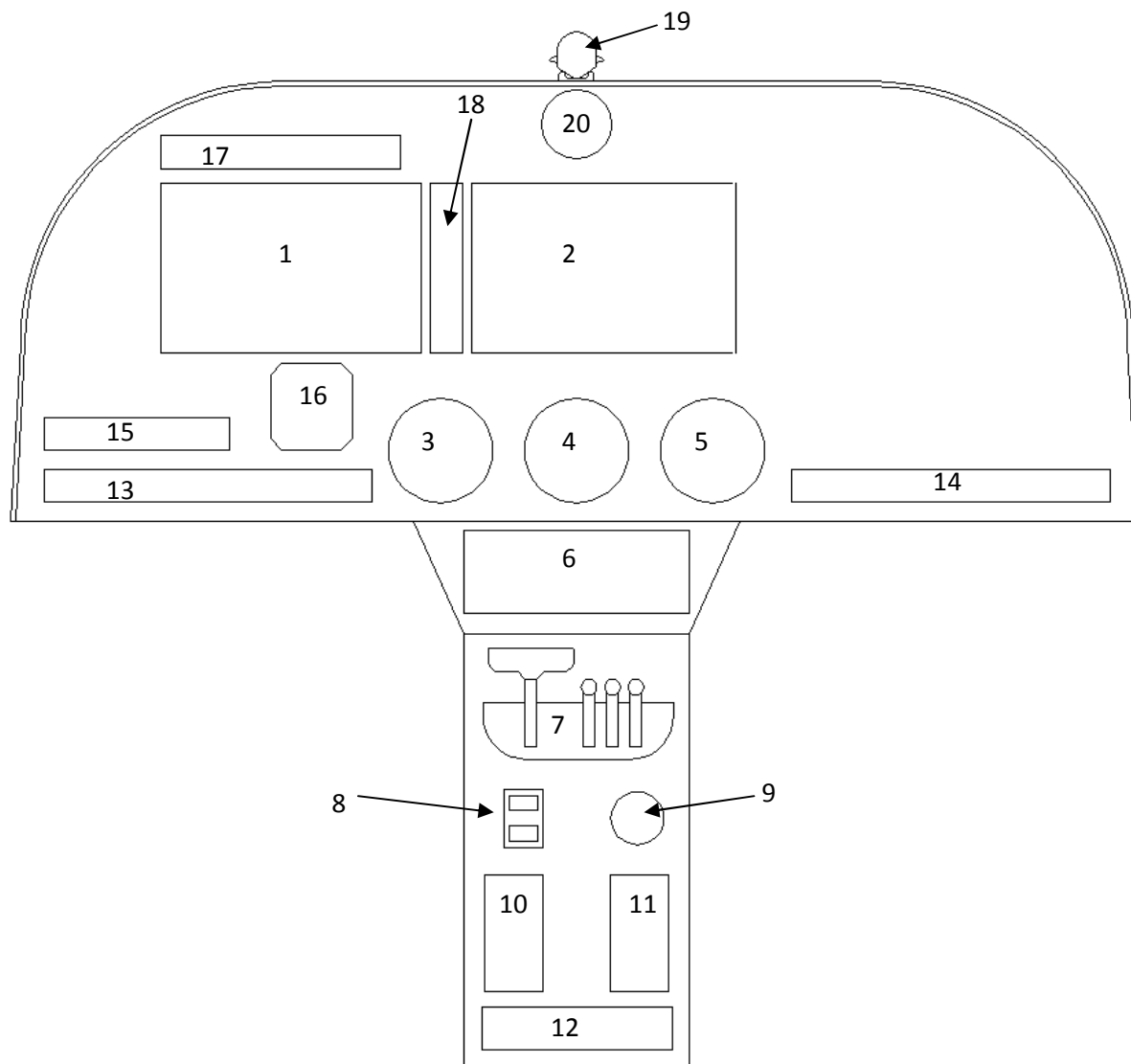
7.1 Návrh uspořádání přístrojového vybavení systému G1000

V případě, že by bylo použito nejmodernějšího systému skleněného kokpitu od Garminu G1000, který udává směr v pojetí skleněných kokpitů, pak by návrh palubní desky mohl vypadat nepatrně odlišně od předchozího návrhu. Dochází k redukci středního panelu přístrojů na palubní desce na panel ovládání přidružených funkcí pro systém Garmin G1000, který obsahuje ovládání audia a navigace. Návrh zobrazuje obrázek 13.

Popis navrhované přístrojové desky pro systém Garmin G1000:

- 1 - PFD (primární letový display)
- 2 - MFD (multifunkční letový display)
- 3 - rychloměr (záložní přístroj)
- 4 - umělý horizont (záložní přístroj)
- 5 - výškoměr (záložní přístroj)
- 6 - panel spínačů
- 7 - ovládání motoru a vrtule
- 8 - ovládání vyvážení výškového kormidla
- 9 - ovládání vyvážení směrového kormidla
- 10 - ovládání vysunování podvozku

- 11 - ovládání vztlakových klapek
- 12 - zdířky pro audio vstup/výstup
- 13 - levý pojistkový panel
- 14 - pravý pojistkový panel
- 15 - panel spínačů



obr. 13 (návrh palubní desky v případě použití systému Garmin 1000)

- 16 - sdružený digitální panel (záložní zobrazení funkcí)
- 17 - světelná signalizace poruchových stavů
- 18 - ovládací panel
- 19 - magnetický kompas
- 20 - palubní hodiny

Pozn.: Výkres navrhovaného uspořádání přístrojové desky příkládán v příloze 8

8 Závěr

Závěrem této práce bych chtěl vyzdvihnout důležitost elektrického vybavení v letounech kategorie GA, které přispívá k automatizaci letu, neboť statistiky nehodovosti v první kapitole této práce hovoří jasně, nehodovost technického charakteru je mnohem menší, oproti nehodovosti zaviněnou lidským faktorem. Automatické systémy řízení letu značně snižují nároky na pracovní zatížení posádky, která se pak může lépe věnovat komunikaci s řízením letového provozu, ovládání přidružených funkcí letadla apod. V druhé kapitole jsem uvedl zejména základní požadavky předpisů, které jsou nutné pro zástavbu elektrických soustav do letounu. Na to jsem navázal třetí kapitolou, ve které uvádím přehled autopilotů kategorie menších letadel, i když BendixKing KFC 325 je spíše pro moderní business jety, ale předpokládá se budoucí zavádění i do menších letadel pro jeho celkové funkční vybavení. Nutností je také popsat způsoby letu za vidu a lety podle přístrojů, což jsem provedl v kapitole 4 spolu s popisem nutných přístrojů, které musí být na palubě letadla, které je certifikované pro lety podle přístrojů. Hlavním tématem této práce byla Funkční analýza rizik (FHA), kterou jsem určil ty nejnebezpečnější funkce na palubě typického 4-místného letadla pro osobní dopravu. Kritickou funkcí je například funkce odpojení autopilota, neboť v případě kdy pilot (člověk) zadá pokyn k odpojení tohoto systému a nedojde k vykonání tohoto požadavku, může nastat kritická situace, že pilot (člověk) není schopen přetlačit ovládací mechanismus autopilota, tím dojde k znemožnění normálního řízení letadla a tím může dojít k nejhoršímu následku, havárii doprovázené v nejhorších případech smrtí posádky. Doporučení zní a je to také předmětem předpisu CS-23.1329, že je nutno prokazovat snadné odpojení autopilota pilotem v jakékoliv situaci a je nutno také minimalizovat činitele, které přispívají k nefunkčnosti těchto systémů. Tyto činitele je možno minimalizovat například zdvojováním elektrických ovládacích cest k řídicím komponentům, kterými jsou nejčastěji elektrická serva, v kategorii osobních dopravních letounu GA. Také velice důležitými přístroji na palubě letadel jsou zejména umělý horizont, který je v drtivé většině letadel zálohovaný, takže na palubě každého letadla pro lety v noci nebo podle přístrojů jsou minimálně dva tyto přístroje, výškoměr bez kterého by pilot nemohl s přesností určit potřebnou hodnotu nadmořské výšky a o něco méně důležitý rychloměr. Kritickými funkcemi oplývají také elektrické soustavy letadel, neboť při jejich celkovém výpadku je ohroženo další bezpečné pokračování letu. Důležitým aspektem bezpečnosti je také rozložení přístrojů na palubní desce letounu, neboť jeho přehledné uspořádání značně přispívá k snadné orientaci pilota a to přispívá k hladkému průběhu letu. V současné době se do letadel GA instalují tak zvané "skleněné kokpity" formou LCD displejů, které zobrazují veškeré informace o letu a nastavení letu na jedné, respektive na dvou LCD obrazovkách zároveň. Tímto odpadá sledování velkého počtu analogových přístrojů. Návrh uspořádání přístrojové desky jsem popisoval v sedmé kapitole.

Jelikož nemám sám možnost z vlastních zkušeností hodnotit, zda analogové přístroje jsou přehlednější než "glass cockpit", tak jsem se pro informace do tohoto odstavce zaměřil na probíhající internetové diskuze mezi piloty (z různých zdrojů).

Celkově vzato je možné vysledovat dva názory, že analogové přístroje jsou lepší a že "glass cockpit" je nepřehledný, ale na druhou stranu jsou i názory, že klasické analogové přístroje jsou jen věcí zvyků. Nové přístupy obecně snižují pracovní zatížení posádky, ale paradoxně kladou větší důraz na získávání praxe při ovládání a přípravě, protože i ten nejmodernější "glass cockpit" může být značně nebezpečný v případě, že pilot neovládá všechny jeho funkce a v případě, kdy je potřebuje, může být už pozdě. Závěrem tohoto odstavce je ten, že i nejmodernější systémy na palubě, které jsou převážně navrhovány pro zvýšení bezpečnosti, můžou být nebezpečné v důsledku nepatřičné obsluhy. Než pilot s těmito novinkami na palubě vzlétne sám, měl by získat patřičnou praxi v ovládání těchto nových systémů a ne jen letmé seznámení se s novým kokpitem při přeškolovacích letech pod dohledem byť velmi zkušeného instruktora.

9 Použitá literatura, použité zdroje:

- [1] Joseph T. Nall: *Nall Report 2006, 2007, 2008, 2009 , Accident Trends and Factors for 2005, 2006, 2007, 2008*. Dostupné z <<http://www.aopa.org/asf/publications/nall.html> >
- [2] Soldán, V.: *Postupy pro lety podle přístrojů*, Řízení letového provozu, Praha, listopad 2000
- [3] CS 23: *Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Category Aeroplanes*, European Aviation Safety Agency, Brussels, 2003.
- [4] JAR-OPS 1: *Obchodní letecká doprava*, MINOSTERSTVO DOPRAVY ČR, Praha 2003
- [5] AC-23-1309-1D: *System Safety Analysis and Assessment For Part 23 Airplanes*, U.S. Department of Transportation, Federal aviation administration, USA, 2009
- [6] Hlinka, J. : *Spolehlivost letadlové techniky - Přednáška 1*, Letecký ústav, VUT-FSI, Brno, 2008
- [7] *PHASE OF FLIGHT DEFINITIONS AND USAGE NOTES*, International Civil Aviation Organization - Commercial Aviation Safety Team, Montreal, February 2006 , Version 1.0.1
- [8] NPRD 95: *Non-electronic Parts Reliability Data*, Reliability Analysis Center (RAC), Rome, 1995
- [9] SPIDR: *System and Integrated Data Resource v.1.0*, System reliability Center, Rome, New York 13440,4007
- [10] NTSB: National Transportation Safety Board. HTML Web pages, Dostupné z: <www.nts.gov>
- [11] Aerospace.com. HTML Web pages, Dostupné z <www.aerospace.com>
- [12] Bendixking.com. HTML Web pages, Dostupné z www.bendixking.com
- [13] Blueangelaviation.com. HTML Web pages, Dostupné z www.blueangelaviation.com
- [14] Aeroweb.cz. HTML Web pages, Dostupné z www.aeroweb.cz
- [15] Airlines.net. HTML Web pages, Dostupné z www.airliners.net
- [16] Cessna, A Textron Company. HTML Web pages, Dostupné z www.se.cessna.com
- [17] Cirrus Design: *Maintenance Manual SR-22, Hermantown, USA*, 2000
- [18] Diamond Aircraft: *DA 40 Series Airplane Maintenance Manual*, Wiener Neustadt, Austria, 2005
- [19] Hlinka, J.: *přednášky pro kurz Palubní soustavy letadel II*, Letecký ústav, VUT-FSI, Brno, 2009

Seznam použitých zkratk

ADF	- automatický radiokompas
ALT	- nadmořská výška (Altitude)
APR	- přiblížení na přistání (Approach)
ATC	- řízení letového provozu (Air Traffic Control)
CWS	- systém varování (Centralized Warning System)
EADI	- elektronický umělý horizont
EFIS	- elektronický systém přístrojů pro let (Electronic Flight Instrument Systems)
EHSI	- elektronický ukazatel kurzu letounu
EPC	- řídicí jednotka elektrické soustavy
FAA	- úřad pro civilní letectví v USA (Federal Aviation Administration)
FD	- vedení letu (Flight Director)
FHA	- funkční analýza rizik (Functional Hazard Assessment)
GA	- obecné letectví (General Aviation)
GPS	- polohový systém (Global Position System)
GS	- traťová rychlost
HDG	- režim magnetického kurzu
HSI	- ukazatel směru (Horizontal Situation Indicator)
IFR	- pravidla letu podle přístrojů (Instrument Flight Rules)
IMC	- lety v meteorologických podmínkách (Instrument Meteorological Conditions)
LCD	- display s tekutými krystaly (Liquid Crystal Display)
LORAN	- vzdálená navigace (Long Range Navigation)
MFD	- multifunkční zobrazovací display (Multifunctional Flight Display)
MRE	- vícemotorový letoun s pístovými motory (Multiple Reciprocating Engine)
MTE	- vícemotorový letoun s turbínovými motory (Multiple Turbine Engine)
NAV	- navigační přijímač
OAT	- teploměr venkovního vzduchu (Outer Air Temperature)
PDB	- rozvodná skříň (Power Distribution Box)
PFD	- primární zobrazovací display (Primary Flight Display)
PPL	- licence pro soukromého pilota (Private Pilot License)
REV	- režim zpětného kurzu
RNAV	- letecká navigace (Area Navigation)
SRE	- jednomotorový letoun s pístovým motorem (Single Reciprocating Engine)
STE	- jednomotorový letoun s turbínovým motorem (Single Turbine Engine)
VDC	- označení pro napětí při stejnosměrném proudu (Voltage Direct Current)
VFR	- pravidla pro létání bez přístrojů (Visual Flight Rules)
VHF	- velmi krátké vlny (Very High Frequency)
VOR	- radio maják (VHF Omnidirectional Radio Range)
VOR/LOC	- zachycení a vedení po trati k majáku VOR

10 Seznam příloh

- Příloha 1: Kompletní FHA tabulka pro soustavu autopilota
- Příloha 2: Kompletní FHA tabulka pro systém elektrické soustavy
- Příloha 3: Kompletní FHA tabulka pro soustavu ovládání kormidel
- Příloha 4: Kompletní FHA tabulka pro soustavu nutného přístrojového vybavení
- Příloha 5: Kompletní FHA tabulka pro soustavu centrálního výstražného systému
- Příloha 6: Kompletní FHA tabulka pro soustavy palubních navigačních přístrojů
- Příloha 7: Kompletní FHA tabulka pro soustavu přístrojů informujících o motorových funkcích
- Příloha 8: Výkres návrhu palubní desky

Příloha 1: Kompletní FHA tabulka pro soustavu autopilota

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
22-10	Celkové selhání autopilota	Minor / ENR	Minor / ENR	Hazardous / ENR	Pokud autopilot neplní svoji funkci, tak pilot autopilota odpojí a převezme manuální řízení, což nemá vliv na zvýšení pracovní zátěže na pilota při krátkých letech, ale při delším letu už ano. U klasifikace 3 hodnotím HAZARDOUS z důvodu matení pilota, autopilot může klonit/zatáčet/klopit aniž by to bylo pilotem požadováno.
22-10	Funkce zobrazování nastavení autopilota	Minor / ENR	Minor / ENR	Minor / ENR	Při normální funkci má pilot ucelený přehled o nastavených funkcích autopilota, pokud tato funkce nefunguje, tak pilot musí dohledávat informace na jiných přístrojích.
22-10	Funkce zapnutí autopilota	Minor / ENR	Minor / ENR	-	Při poruše aktivačního tlačítka autopilota nebo při nespuštění autopilota po stlačení příslušného tlačítka pilot neprovádí žádné jiné úkony a pokračuje ve vlastním letu dál.
22-10	Funkce odpojení autopilota	Catastrophic / ENR	Hazardous / ENR	-	V hodnocení 1 uvažuji nemožnost přetlačení autopilota pilotem (člověk) při selhání funkce odpojení autopilota. Hodnocení 2 předpokládá, že při poruše funkce odpojení autopilota pilotem (člověk) má pilot možnost přetlačení řídicích mechanismů autopilota a tím má možnost bezpečného, i když ztíženého letu.

22-10	Funkce snímání polohy ocasních ploch	Minor / ENR	Minor / ENR	Major / ENR	Soustava autopilota nemá správné informace o poloze ocasních ploch a tím pádem pro let v horizontální poloze nastavuje nesprávné úhly výškového kormidla, což může mít za následek nepřiměřené klesání nebo stoupání. Pokud pilot tuto závadu zjistí, odpojí autopilota a převezme řízení.
22-10	Funkce upozornění na překročení nastavené nadmořské výšky	Minor / ENR	-	Minor / ENR	Pilot není informován o překročení nastavené nadmořské výšky, ale pilot by měl po celou dobu letu sledovat přístroje a měl by si této skutečnosti všimnout.
22-10	Funkce autopilota - nastavení hodnoty nadmořské výšky	Minor / ENR	-	Minor / ENR	Pilot nemůže při poruše této funkce nastavit hodnotu nadmořské výšky, kterou by měl autopilot udržovat, pokud nemůže provádět korekce výšky za současného provozu autopilota, tak soustavu odpojí a provádí manuální let.
22-10	Funkce magnetického kurzu (HDG)	Minor / ENR	-	Minor / ENR	Při poruše nebo značné odchylce od skutečnosti, kdy pilot zjišťuje nesrovnalosti oproti kurzu na jiných přístrojích nastavuje jiné možnosti kurzu.
22-10	Funkce zachycení a sledování trati dle VOR majáku	Minor / ENR	-	Major / ENR	Když není schopen autopilot sledovat kurz k pozemnímu majáku VOR, tak pilot nastaví jinou možnost pro navigaci autopilota. Pokud nastane situace, že autopilot klame touto funkcí, tak může dojít k výraznému odchýlení od přednastaveného kurzu.
22-10	Funkce navigace autopilota podle GPS	Minor / ENR	-	Major / ENR	Když není schopen autopilot sledovat kurz pomocí systému GPS, pak pilot nastaví jinou možnost pro navigaci autopilota. Pokud nastane situace, že autopilot klame touto funkcí, tak může dojít k výraznému odchýlení od přednastaveného kurzu.

22-10	Funkce volby navigace při přiblížení na přistání (APR, ILS)	Minor / APR	-	Major / APR	Při poruše této funkce nezachytí autopilot příslušný paprsek, na který je nastavený, při zjištění této poruchy pilotem, pilot odpojuje autopilota a provede přiblížení na přistání manuálně. Pokud autopilot provádí sestup podle této funkce, ale je zjevné odklonění od správného směru, pilot by měl kontrolovat na ostatních přístrojích a pokud zjistí tuto závadu, provede odpojení autopilota a provede přiblížení manuálně.
22-10	Funkce přiblížení na reverzní kurs (REV)	Minor / APR	-	Minor / APR	Ne vždy je možné přiblížení v jakémkoliv směru v závislosti na počasí, a proto při poruše této funkce provádí pilot přiblížení na přistání manuálně
22-10	Funkce vertikální rychlosti (VS)	Minor / ENR	-	Major / ENR	Při poruše této funkce autopilot nedodrží pokyn pro režim sestupu/stoupání při konstantní vertikální rychlosti, pak pilot provede sestup/stoupání manuálně do požadované výšky. Pokud autopilot neudrží stanovenou sestupovou rychlost a její hodnotu překročí, může nastat nepředpokládaný kontakt se zemí, ale to je nepravděpodobné, protože pilot by měl autopilota stále kontrolovat pomocí ostatních přístrojů.
22-10	Funkce udržení aktuální letové výšky (ALT)	Minor / ENR	-	Major / ENR	Pokud autopilot neudrží stanovenou nadmořskou výšku, může nastat nepředpokládaný kontakt s terénem při nepozornosti pilota, ale pilot by měl autopilota kontrolovat pomocí ostatních přístrojů.

Funkční analýza rizik (FHA) 4-místného letounu pro osobní dopravu

FSI VUT v Brně

Letecký Ústav

22-10	Funkce podélného vyvážení v automatickém režimu	Minor / ENR	-	-	Pilot musí provádět vyvážení manuálně, pokud tato funkce selže.
22-10	Funkce ovládání zatáčení	Minor / ENR	-	-	Při poruše této funkce autopilot nemá možnost provádět zatáčení v rozsahu směrového kormidla, pilot musí provádět manuálně.
22-10	Funkce ovládání klonění	Minor / ENR	-	-	Při poruše této funkce autopilot nemá možnost provádět klonění v rozsahu funkce křidélek, pilot musí provádět manuálně.
22-10	Funkce ovládání klopení	Minor / ENR	-	-	Při poruše této funkce autopilot nemá možnost provádět zatáčení v rozsahu výškového kormidla, pilot musí provádět manuálně.

Příloha 2: Kompletní FHA tabulka pro systém elektrické soustavy

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
24-00	Napájení el. sítě letadla sekundárním zdrojem (baterie)	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, APR	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, APR	-	Pokud nastane výpadek el. energie na palubě letadla v celkovém rozsahu (po výpadku alternátorů i záložních baterií), tak se tento stav dá charakterizovat jako katastrofický, neboť v podmínkách IFR letu nemáme za této situace k dispozici žádný přístroj a letoun se stává téměř neřiditelný, vždy má s největší pravděpodobností za následek nehodu s fatálními následky.

24-01	Primární zdroj el. energie (alternátor)	Minor / cestovní část letu	-	-	Při výpadku funkce alternátoru má pilot k dispozici ještě baterii, která je v tomto případě záložním zdrojem a podle předpisů by měla vydržet pro 30 minut letu, což je dostatek času na přistání. Pilot provádí postupy pro snížení spotřeby el. energie na minimum.
24-01	Sekundární zdroj el. energie (baterie)	Minor / ENR	-	Catastrophic / ENR	Sekundární zdroj se používá převážně jen na zemi k nastartování motoru, za letu se už standardně nepoužívá. Jiná situace nastává, když za letu vypadne funkce primárního zdroje a sekundární není dostatečně silný, aby mohl dodávat životně důležitou energii po dobu 30 minut, která je stanovena předpisy, pak nastává hodnocení catastrophic.
24-60	Zajištění el. sítě proti zkratu	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	-	-	Při poruše jistících prvků dochází buď k rozpojení i vlivem standardních napětí a proudů, a nebo k nerozpojení obvodu vůbec a to je pak horší situace, může dojít k přepálení obvodů nebo přístrojů, pro který je příslušný jistič instalován.

Příloha 3: Kompletní FHA tabulka pro soustavu ovládání kormidel

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
27-10	Funkce ovládání křidélek	Hazardous / MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání křidélek, tak by měl být ještě schopen nahradit tuto funkci pomocí směrovky, která sice omezeně, ale přesto umožňuje, i když pomalejší naklání. Pilot má větší nároky na pilotáž a záleží na jeho schopnostech. Požadavek na ovladatelnost charakterizuje CS-23.147.
27-20	Funkce ovládání směrového kormidla	Hazardous / MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání směrového kormidla, tak by měl být ještě schopen pokračovat v letu, sice obtížně, ale za pomoci křidélek a výškovky je let řiditelný, i když obtížně a v závislosti na zkušenostech pilota. Požadavek na ovladatelnost charakterizuje CS-23.147.
27-30	Funkce ovládání výškového kormidla	Hazardous / ENR, MNV, APR, LDG	-	-	Když pilot ztratí možnost ovládání výškového kormidla, tak by měl být schopen pokračovat v letu za pomoci vyvažovacích plošek na výškovém kormidle, v předpisech je toto požadováno (CS-23.145(4)), pokud ale ztratíme i funkci trimu, tak catastrophic. Nároky na pilota jsou dosti zvýšené, neboť tato situace není možno trénovat.
27-39	Funkce varování před pádovou rychlostí	Major / TOF, ICL, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, MNV, APR, LDG	Při výpadku této funkce pilot ztratí pouze oznamovací funkci o tomto stavu, ale pilot by měl sledovat rychloměr po celou dobu letu, takže tato funkce je pouze dodatková a má spíše charakter zvýrazňující.

27-50	Funkce aktivace vysouvání vztlakových klapek	Major / LDG	-	Catastrophic / LDG	<p>Pokud vysouvání klapek nefunguje, tak pilot je nucen přistávat na vyšší rychlosti, což má za následek delší brzdnou dráhu, pouze v případě krátké přistávací dráhy je zde riziko vyjetí mimo přistávací dráhu a maximálně poškození podvozku o nerovnosti terénu. Ale to probíhá při nízkých rychlostech, takže by nemělo mít vliv na zdraví posádky, případné menší deformace by měl vstřebat trup letadla.</p> <p>Pokud ale letiště končí například srázem nebo větší nerovností, pak je situace kritičtější a už může dojít ke značnému poškození letadla, a proto hodnocení Major. Pouze při klasifikaci 3 uvádím hodnocení Catastrophic, protože nesymetrické vysunutí klapek může mít kritické důsledky pro letoun i posádku, kdy křídélka nejsou schopna přetlačit klopivý moment od nesymetrického vysunutí klapek za předpokladu porušení spojovací tyče, která zajišťuje symetrické vysunutí klapek.</p>
55-20	Funkce vyvážení výškového kormidla	Major / ICL, ENR	Catastrophic / ICL, ENR	-	<p>Když pilot nemá možnost vyvažovat výškové kormidlo, tak vznikají větší síly do řízení a to má za následek, že pilot může dříve dojít na hranici fyzických možností (CS-23.397), ale pokud pilot tuto závadu zjistí, měl by co nejdříve přistát a zajistit opravení této poruchy (viz. CS-23.161). V případě klasifikace 2 uvádím hodnocení catastrophic, kdy může dojít k přerušení táhel vyvažovací plošky a následkem toho začne na výškové kormidlo působit tzv. "flutter" který může způsobit až ztrátu výškového kormidla, a proto je žádoucí tuto situaci řešit zdvojením táhel ovládání trimů.</p>

Příloha 4: Kompletní FHA tabulka pro funkce soustavy nutného přístrojového vybavení

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
34-22	Funkce magnetického kompasu	Minor / ICL, ENR, MNV, APR	-	Minor / ICL, ENR, MNV, APR	Při poruše dochází k úplnému vychýlení od správného směru, pilot by měl kontrolovat na více přístrojích, takže nemá vliv na přesnost letu. Magnetický kompas má spíše funkci orientační a záložní.
31-20	Funkce měření času nebo funkce časovače	Minor / TXI, TOF, ICL, ENR	-	Minor / TXI, TOF, ICL, ENR	Při poruše této funkce dochází k špatnému zobrazování času nebo časovače. Pilot by měl mít záložní přístroje, například náramkové hodinky.
34-10	Funkce ukazatele vnější teploty vzduchu - OAT	Minor / TXI, TOF, ICL, ENR	-	Minor / TXI, TOF, ICL, ENR	Zobrazování venkovní teploty upozorňuje na možnost zamrznání důležitých komponent na letadle při určité nadmořské výšce, ale tato funkce může být zastoupena systémem CWS, který upozorní na nefunkční daného potřebného zařízení, například vyhřívání pitot.-statické soustavy.
34-10	Zajištění statického a celkového tlaku Pitot-statickou soustavou	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Tato soustava je pro pilota velice důležitá, neboť pomocí těchto soustav má pilot přehled o nadmořské výšce a rychlosti letu, což jsou jedny z nejdůležitějších veličin na palubě, doporučuje se tuto funkci zálohovat.
34-10	Funkce zobrazení aktuální výšky letu	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Při ztrátě této funkce není schopen pilot určit aktuální výšku letu, doporučuje se tyto funkce zálohovat. předpis Jar OPS 1.650 přímo vyžaduje u této kategorie letadel 2 výškoměry na palubě, ať už u jedno nebo dvou pilotního letu.

34-10	Funkce zobrazení aktuální rychlost letu	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Hazardous / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pilot může rychlost odvodit v případě ztráty této funkce pomocí nastavené přípustě motoru a parametrů motoru. V dnešních GLASS COCKPITECH je vždy tato funkce zobrazována na LCD panelu a ještě je zálohována analogovým přístrojem.
	Funkce vyhřívání pitot.-statické soustavy	Minor / ENR	Minor / ENR, MNV	-	Funkce vyhřívání pitot.-statické soustavy je velmi důležitá, protože při zamrznutí vstupního otvoru není toto zařízení schopno měřit celkový a statický tlak a pilot přijde o 2 funkce zároveň, o funkci zobrazující aktuální rychlost letu a o funkci zobrazující aktuální výšku letu
	Funkce signalizující poruchu vyhřívání pitot.-statické soustavy	Catastrophic / ENR, MNV	Hazardous / ENR, MNV	Minor / ENR	Při poruše signalizace poruchy vyhřívání pitot.-statické soustavy dojde k situaci, kdy pilot neví o namrzání vstupního otvoru do pitot.-statické soustavy a neprovádí příslušná protipatření, následuje ztráta funkcí výškoměru a rychloměru. Ale pokud signalizace hlásí poruchu a porucha není, tak pilot jen přistane a ověří si informaci.
	Funkce informující o aktuální rychlosti stoupání / klesání	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, APR	Při režimech letu, které nejsou cestovní je variometr potřebný přístroj, ale pilot může nouzově při jeho nefunkci použít například umělý horizont a rychloměr.
34-25	Funkce zobrazení zatáčení letounu	Minor / MNV	-	Minor / MNV	Při nefunkci zatáčkoměru pilot má ztíženou pilotáž při zatáčkách, ale nemá vliv na bezpečnost letu.

Funkční analýza rizik (FHA) 4-místného letounu pro osobní dopravu

FSI VUT v Brně

Letecký Ústav

34-25	Funkce celkové polohy letadla v prostoru (umělý horizont)	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Catastrophic / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud mimo letadlo panují IFR podmínky a pilot nemá k dispozici umělý horizont, tak nastává kritická situace, neboť pilot nemá představu o poloze letounu, pilot není sám schopen určit polohu na základě svých biologických senzorů.
34-25	Funkce gyroskopického kompasu	Minor / ICL, ENR, MNV, APR	-	Minor / ICL, ENR, MNV, APR	Pilot by měl sledovat i záložní přístroje a srovnávat kurz například s magnetickým kompasem, který plní na letadle funkci záložního přístroje.

Příloha 5: Kompletní FHA tabulka pro soustavu centrálního výstražného systému

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
31-50	Funkce CWS - signalizace nízkého tlaku oleje	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Klas 3) Kontrolka svítí i při správném tlaku, pilot se snaží s letadlem přistát, nemá vliv na bezpečnost
31-50	Funkce CWS - signalizace nízkého tlaku paliva	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Major / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Klas 3) Kontrolka svítí i při správném tlaku, pilot se snaží s letadlem přistát, nemá vliv na bezpečnost

31-50	Funkce CWS - nízká hladina paliva v nádržích	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pilot kontroluje kolik má paliva na palivoměru a pilot si musí taky před letem udělat předletovou přípravu a zajistit si tolik paliva na palubě letadla jaké je potřeba pro uskutečnění plánovaného letu, včetně navigační zásoby.
31-50	Funkce CWS - vyhřívání pitot-statické soustavy je nefunkční	Hazardous / ENR, MNV	Major / ENR, MNV	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud není vyhřívání opravdu funkční, tak pitot-statická soustava zamrzne a tím pádem ztráta informací o výšce a rychlosti = Catastrophic. Pokud kontrolka svítí a porucha skutečně není, tak pilot pouze přistane a provede kontrolu, nevede na katastrofickou událost
31-50	Funkce CWS - indikace poruchy sekundárního zdroje el. energie	Major / ENR	Major / ENR	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud alternátor skutečně nefunguje, tak pilot neprovádí protipatření, ztráta elektrické energie v letadle do 1/2 hodiny = Catastrophic, pokud na palubě záložní alternátor = Minor
31-50	Funkce CWS - signalizace nízkého napětí v el. síti	Major / ENR	Major / ENR	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Pokud je na palubě opravdový pokles napětí a pilot o tom neví, tak může dojít k výpadkům různých soustav = Catastrophic

Příloha 6: Kompletní FHA tabulka pro soustavu palubních navigačních přístrojů

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
34-42	Funkce navigace k majáku VOR	Minor / ENR	Minor / ENR	Major / ENR	Při poruše může nastat podstatné odklonění od kurzu v důsledku poruchy VOR vybavení na palubě letadla a tím dochází ke ztrátě správného směru letu k přednastavenému radiomajáku VOR, při zjištění této situace pilot používá jiný způsob navigace
34-45	Podpora ze země informacemi o počasí	Minor / ENR	Minor / ENR	Minor / ENR	Pilot provádí předletovou kontrolu a ta zahrnuje také informace o meteorologické předpovědi na předpokládané trase letového plánu. Pokud pilot potřebuje aktualizovat tyto informace a tato funkce na palubě selže, tak kontaktuje pozemní personál a ten dodá pilotovi potřebné informace o počasí
34-54	Funkce informování o délkové a časové vzdálenosti od pozemní stanice - DME	Minor / ENR	Minor / ENR	Minor / ENR	Pilot nemá přesnou informaci o vzdálenosti a odhadovaném času k cílovému nebo průletovému majáku. Funkce je to pouze informativní a při poruše nemá charakter katastrofické události.
34-56	Funkce odpovídače	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Při poruše tato soustava neodesílá informace o nadmořské výšce a kódu letadla, které toto zařízení nese. Pokud pilot zjistí, že odpovídač na palubě nefunguje, kontaktuje pozemní personál a ten řídí jeho let a odklání ostatní lety z jeho směru až do ukončení letu.

34-58	Funkce globálního pozičního systému	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Minor / TOF, ICL, ENR, MNV, APR, LDG	Při poruše tohoto navigačního systému pilot používá jiné přístroje pro zajištění správné navigace.
	Funkce přesného přiblížení na přistání ILS (Instrument Landing System)	Minor / APR	Minor / APR	Minor / APR	Při poruše této funkce provede přiblížení pilot manuálně za pomoci ostatních navigačních přístrojů.

Příloha 7: Kompletní FHA tabulka pro soustavu přístrojů informujících o motorových funkcích

označení funkce dle GAMA	Funkce	Klasifikace / fáze letu			Poznámky
		1) Úplná ztráta funkce	2) Ztráta primárních prostředků k zajištění funkce	3) Zavádějící a chybné funkce bez varování	
77-40	Funkce zobrazení aktuální teploty oleje v motoru	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Při náhlém výpadku motoru, o které CWS neinformoval v důsledku poruchy signalizačního zařízení je požadována plná řiditelnost letounu

77-40	Funkce informování o aktuálním průtoku paliva do motoru	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Při náhlém výpadku motoru, o které CWS neinformoval v důsledku poruchy signalizačního zařízení je požadována plná říditelnost letounu
77-40	Funkce informování o teplotě hlav válců	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Při náhlém výpadku motoru, o které CWS neinformoval v důsledku poruchy signalizačního zařízení je požadována plná říditelnost letounu
77-40	Funkce informování o teplotě výfukových plynů	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Pouze informativního charakteru.

77-40	Funkce informování o tlaku oleje v motoru	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Při náhlém výpadku motoru, o které CWS neinformoval v důsledku poruchy signalizačního zařízení je požadována plná říditelnost letounu
77-40	Funkce informování o aktuálním tlaku paliva	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Při náhlém výpadku motoru, o které CWS neinformoval v důsledku poruchy signalizačního zařízení je požadována plná říditelnost letounu
77-40	Funkce informování o výstupní hodnotě proudu z alternátoru	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	-	Minor / TOF, ICL, ENG, MNV, APR, LDG	Na palubě letounu je zařízení, které měří elektrickou energii, která je dostupná v elektrické síti letadla, je zálohováno.